

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: :
:
Masaji Noguchi, et al. :
:
Application. No.: TBD : Group Art Unit: TBD
:
Filed: February 9, 2004 : Examiner: TBD

Title: WAVELENGTH SELECTION MODULE COMPRISING VARIABLE WAVELENGTH
SELECTING SECTION FOR SELECTING A PLURALITY OF WAVELENGTHS

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

A certified copy of two corresponding Japanese Application Nos. 2003-316973 and 2003-053335, filed September 9, 2003 and February 28, 2003 are attached. It is requested that the right of priority provided by 35 U.S.C. 119 be extended by the U.S. Patent and Trademark Office.

Respectfully submitted,



Date: February 9, 2004

Michael A. Schwartz, Reg. No. 40,161
Swidler Berlin Shereff Friedman, LLP
3000 K Street, NW, Suite 300
Washington, DC 20007-5116
Telephone: (202) 424-7500
Facsimile: (202) 295-8478

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 9 日
Date of Application:

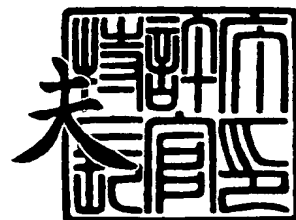
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 1 6 9 7 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 1 6 9 7 3]

出 願 人 富 士 通 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 1 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 0351858
【提出日】 平成15年 9月 9日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02F 1/01
G02F 1/11

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 2 丁目 3 番 9 号 富士通デジタル・テクノロジー株式会社内
【氏名】 野口 雅司

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 2 丁目 3 番 9 号 富士通デジタル・テクノロジー株式会社内
【氏名】 上野 智弘

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
【氏名】 宮田 英之

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
【氏名】 甲斐 雄高

【特許出願人】
【識別番号】 000005223
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】
【識別番号】 100108187
【弁理士】
【氏名又は名称】 横山 淳一
【電話番号】 044-754-3035

【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2003- 53335
【出願日】 平成15年 2月28日

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 011280
【納付金額】 21,000円

【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成15年度通信・放送機構「フォトリックネットワークに関する光アクセス網高速広帯域通信技術の研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの）

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0017694

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

複数の異なる波長の光が多重化された光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力光を波長ごとに分波し出力する分波手段を備えた波長選択モジュール。

【請求項 2】

請求項 1 記載の波長選択モジュールであって、

前記分波手段の出力光を入力し、不要の波長の光を減衰して出力する手段を備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 3】

複数の異なる波長の光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 および第 2 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し特定の波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記フィルタの透過波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 4】

出力波長が一定である基準光源と、

複数の異なる波長の光を含む入力光と前記基準光源の出力光を合波する合波手段と、

前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 および第 2 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し前記基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記基準光源の波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 5】

出力波長が一定である第 1 および第 2 の基準光源と、

複数の異なる波長の光を含む入力光と前記第 1 および第 2 の基準光源の出力光を合波する合波手段と、

前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 ないし第 3 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し前記第 1 の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記第 3 の光を入力し前記第 2 の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 2 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記第 1 の基準光源の波長の関係および前記制御信号と前記第 2 のフィルタの出力と前記第 2 の基準光源の波長の関係に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 6】

請求項 3 ないし請求項 5 記載の波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光を前記波長選択部で連続的に選択するように前記制御信号を制御することを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 7】

請求項 3 ないし請求項 5 記載の波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光に対応する前記制御信号の出力を抑制することにより、前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長の前記第 1 の光への出力を抑制することを特徴とする波長選択モジュール。

【請求項 8】

請求項 3 ないし請求項 5 記載の波長選択モジュールであって、
第 1 の光を入力し前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長を減衰する第 3 のフィルタを備えることを特徴とする波長選択モジュール。

【書類名】 明細書**【発明の名称】 波長選択モジュールおよび光装置****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、波長多重された光から特定の波長の光を選択して出力する波長フィルタおよび、これを用いた光分岐・挿入装置に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

通信システムにおいては、大容量で構成が柔軟なネットワーク構築のために、長距離・大容量の伝送が可能である光通信システムの需要が高い。この長距離・大容量の伝送を実現する方式として、波長分割多重 (WDM; Wavelength-division Multiplexing) 通信が広く用いられている。WDM通信は、光ファイバの広帯域・大容量性を利用するものであり、WDM通信によるネットワーク構築についての研究が進められている。

【0 0 0 3】

光通信システムで柔軟な構成のネットワークを構築するためには、ネットワーク上の各地点において、信号光を通過・分岐・挿入する機能、信号光ごとに伝送先を選択する光ルーティング機能、クロクコネクト機能が必要となる。このうち、光信号を通過・分岐・挿入する機能を実現する手段として、光学的分岐挿入 (OADM; Optical Add / Drop Multiplexing) 装置が研究開発されている。OADM装置としては、固定波長の光信号のみを分岐・挿入することができる波長固定型のOADM装置と、任意波長の光信号を分岐・挿入することができる任意波長型のOADM装置が知られている。

【0 0 0 4】

一方、音響光学チューナブルフィルタ (AOTF; Acousto-Optic Tunable Filter) は、音響光学効果を用いて波長を選択するフィルタであり、外部より印加する高周波 (RF; Radio Frequency) 信号に応じた波長の光を選択することができる。選択波長が固定であるファイバグレーティングと異なり、RF信号の周波数を変化させることにより、任意の波長を選択することができる。また、選択波長範囲が広い (80nm以上)、チューニングのスピードが速い (10 μ 秒以下)、同時に複数波長を選択できる等の特長を有する。さらに、可変波長選択フィルタでもあるので、端局間において光信号を分岐・挿入する局であるトリビュタリ局における可変波長選択フィルタとしても使用することができる。このような理由から、AOTFを使用したOADM装置が研究開発されている。(例えば特許文献1参照。)

AOTFは図18に示される音響光学効果を利用した光素子であり、弾性表面波 (SAW; Surface Acoustic Wave) と光の相互作用によるモード変換を利用して波長を選択する。図18においてAOTFは、複屈折性および音響光学効果を有する基板26Aの上に形成された、光導波路24A~24B、偏光ビームスプリッタ (PBS; Polarized Beam Splitter) 23A~23B、SAW導波路22A、楕形電極 (IDT; Inter Digit Transducer) 21A、吸収体25A~25Bにより構成される。

【0 0 0 5】

基板26Aとしては、複屈折性および音響光学効果を有するLiNbO₃が用いられ、Ti等を拡散することにより光導波路24A~24BとPBS23A~23Bが形成される。光導波路24Aと24Bは2箇所交叉し、交叉部分に導波路型のPBS23A~23Bが設けられる。PBS23Aおよび23Bは、入射する光導波路の光の偏光に基づき、光の進行方向を変化させる偏光分離素子である。

【0 0 0 6】

SAW導波路22Aは、IDT21Aにより発生したSAWが伝搬する導波路であり、光導波路24Aおよび24Bと交差する部分において、SAWと光とが相互作用をする。IDT21Aは、外部のRF信号発生部2Aより印加されたRF信号に基づき、SAWを発生させる電極である。SAW導波路と光導波路が交差する領域においては、光導波路24Aおよび24Bの屈折率は、SAWの波長に合わせて周期的に変化する。これにより、光導波路24Aおよび24Bを伝搬する光のうち、SAWによる光導波路の屈折率の周期的な変化と相互作用をする、

特定の波長の光の偏波面が回転し、TE光はTM光に、TM光はTE光へとモードが入れ替わる。SAWとの相互作用による光の偏波面の回転量は、相互作用の作用長と、SAWを発生させるためにIDTに印加するRF信号の強度に比例する。したがって、作用長とRF信号強度を選択することにより、SAWによりモード変換をする光の波長を制御することができる。

【 0 0 0 7 】

図 1 8 のように光導波路とSAW導波路が交差する構成では、金属膜を形成することによりSAW導波路が形成される。光通信で用いられている波長帯域であるCバンド（ $1.55\mu\text{m}$ 帯；約 $1.53\mu\text{m}$ ～約 $1.56\mu\text{m}$ ）やLバンド（ $1.58\mu\text{m}$ 帯；約 $1.57\mu\text{m}$ ～約 $1.61\mu\text{m}$ ）の光をAOTFにより選択する場合、印加するRF信号の周波数は170MHz～180MHzとなる。また、SAWがSAW導波路 2 2 A 以外に伝搬しないように、吸収体 2 5 A および 2 5 B が設けられている。

【 0 0 0 8 】

ここで、図 1 8 に示されるAOTFに波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光が入力され、外部からのRF信号により波長 λ_1 の光のみが選択され、出力される場合を考える。入力（IN）ポートに入射した波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光は、PBS 2 3 A によりTE光とTM光に分かれて、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のTM光は光導波路 2 4 B を伝搬し、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のTE光は光導波路 2 4 A を伝搬する。波長 λ_1 の光が、SAWと光の相互作用によりモード変換されるように選択された周波数および強度のRF信号を、RF信号発生部 2 A がIDT 2 1 A に印加することにより、波長 λ_1 の光はモード変換され、光導波路 2 4 A からPBS 2 3 B には波長 λ_1 のTM光と波長 λ_2 、 λ_3 のTE光が入射し、光導波路 2 4 B からPBS 2 3 B には波長 λ_2 、 λ_3 のTM光と波長 λ_1 のTE光が入射する。

【 0 0 0 9 】

PBS 2 3 B により、光導波路 2 4 A から入射した光は、波長 λ_2 、 λ_3 のTE光が透過（THRU）ポートへ、波長 λ_1 のTM光が分岐（DROP）ポートへと出力する。また、光導波路 2 4 B から入射した光は、波長 λ_2 、 λ_3 のTM光が透過（THRU）ポートへ、波長 λ_1 のTE光が分岐（DROP）ポートへと出力する。したがって、波長 λ_2 、 λ_3 のTE光およびTM光は透過（THRU）ポートへ、波長 λ_1 のTE光およびTM光が分岐（DROP）ポートへと出力されるので、偏光に関わらず、RF信号発生部で選択した波長の光は、分岐（DROP）ポートへ、それ以外の波長の光は透過（THRU）ポートへと出力される。

【 0 0 1 0 】

このように、AOTFは、RF信号の周波数に応じた波長の光のみを選択して分岐させることができ、さらに、このRF信号の周波数を変化させることによって、選択される光の波長を変えることができる。また、透過（THRU）ポートから出力される光は、入力（IN）ポートから入力される光（波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ）から、RF信号の周波数に対応する波長（ λ_1 ）の光のみが除去された光（波長 λ_2 、 λ_3 ）であるので、AOTFは、特定波長の光を出力しないようにする、リジェクション機能を持つフィルタとして用いることができる。

【 0 0 1 1 】

また、挿入（ADD）ポートに波長 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 の光が入力され、波長 λ_4 に対応するRF信号がIDT 2 1 A に印加された場合は、上記と同様にして、波長 λ_4 の光が透過（THRU）ポートに出力され、波長 λ_5 、 λ_6 の光が分岐（DROP）ポートに出力される。したがって、AOTFの挿入（ADD）ポートに光を入力した場合は、IDT 2 1 A に印加されたRF信号の周波数に対応する波長の光は透過（THRU）ポートに出力され、それ以外の波長の光は分岐（DROP）ポートに出力される。

【 0 0 1 2 】

AOTFは、印加するRF信号の周波数を変化させることにより、選択する光の波長を変化させることができるが、 1°C の温度変化により選択波長が100GHz（波長換算で約0.8nm）ずれるという温度特性を持つ。

【 0 0 1 3 】

一方、WDM信号光の波長間隔は、例えば、ITU-T G.692勧告により0.8nmと規定されており、AOTFに印加するRF信号の周波数を変化させなければ、AOTFの温度変動により、異なる信号光を選択することになる。WDM通信においてAOTFを使用するために、AOTFの温度変化

に対する制御方法についても研究・開発がなされている。(例えば特許文献1参照。)

図19は、AOTFを用いた波長選択モジュールを使用した、従来の技術によるOADM装置である。図19におけるOADM装置は、光カプラ9A~9C、光増幅器11A、光増幅部11B、可変波長選択モジュール20A~20D、トランスポンダ部15A、光アッテネータ(ATT)部12A、帯域阻止光フィルタ(BRF; Band Rejection Filter)16Aにより構成される。また、トランスポンダ部15Aは、光受信部13Aおよび光送信部14Aにより構成される。

【0014】

可変波長選択モジュール20A~20DはAOTFを使用した波長選択モジュールであり、入力された光から特定の波長の光を選択して出力する。また、BRF16AはAOTFのリジェクション機能を用いたものであり、挿入(ADD)ポートから入力された光のうち、印加されたRF信号の周波数に対応する光を、透過(THRU)ポートに出力する。また、入力(IN)ポートから入力された光のうち、印加されたRF信号の周波数に対応する光を、分岐(DROP)ポートに出力し、透過(THRU)ポートには出力しない。

【0015】

トランスポンダ部15Aは、入力された信号光を光受信部13Aで受信し、電気信号に変換してから、光送信部14Aにより、WDM信号光に挿入し、多重化することのできる波長の光信号として送出する。

【0016】

図19に示されるOADM装置において、入力されたWDM信号光から、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光を単一波長の光に分岐して出力するとともに、挿入された光を波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光としてWDM信号光に多重化して出力する場合について説明する。

【0017】

OADM装置の入力(IN)ポートに入力されたWDM信号光はカプラ9Aにより分波され、BRF16Aと、光増幅器11Aに入力する。光増幅器11Aに入力した光は、増幅され、カプラ9Bにより分波され、可変波長選択モジュール20A~20Dに入力する。可変波長選択モジュール20A~20Dは、それぞれ波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 の光を選択し、単一波長の光としてOADM装置の分岐光ポートに出力する。

【0018】

一方、OADM装置の挿入ポートに入力した光は、トランスポンダ部15Aにより信号光の波長を変え、波長 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 、 λ_8 の光として出力する。出力された波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光は、光増幅部11Bにより増幅され、ATT部12Aにより、それぞれ光強度の調整をされ、カプラ9Cにより合波され、BRF16Aの挿入(ADD)ポートに入力する。

【0019】

BRF16Aの入力(IN)ポートには、カプラ9Aにより分波されたWDM信号光が入力され、BRF16Aの挿入(ADD)ポートにはカプラ9Cにより合波された波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光が入力される。挿入(ADD)ポートに入力された光を透過(THRU)ポートに出力するために、BRF16Aには波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ に対応する周波数のRF信号が印加されるが、これにより、入力(IN)ポートに入力されたWDM信号光のうち、波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光は分岐(DROP)ポートに出力されるので、波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ を除いた光が透過(THRU)ポートに出力される。

【0020】

これにより、透過(THRU)ポートには、OADM装置に入力されたWDM信号光のうち、波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光を除いた光と、BRF16Aの挿入(ADD)ポートに入力された波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光が波長多重されたものが出力される。

【0021】

現在の光伝送システムのネットワークでは、送信端局と受信端局との間で連続的に信号光を伝送するストリーム方式による通信が行われている。光伝送システムでは、光信号から電気信号に変換することなくデータを光のまま中継する技術が実用化され、光・電気および電気・光変換器削減による低コスト化や、信号光自体を切替えることにより、ビットレートやプロトコルに非依存な中継器が実現されてきた。柔軟なネットワーク構成を実現

するために、信号光波長ごとに伝送経路を切替えることができる中継ノードに関する開発も行われている。

【0022】

一方、現在のストリーム方式のように、端局間の通信を確立してから信号伝送を行うのではなく、一区切りのデータごとに中継ノードを切替える光バーストスイッチング方式の開発が進められている。図18(a)は、光バーストスイッチング方式により通信を行う光ネットワークの構成を模式的に示したものの、図18(b)は、光バーストスイッチング方式における制御チャンネルおよびデータチャンネルに伝送される信号の時間に対する変化を模式的に示したものである。

【0023】

図18(a)において、光バーストスイッチング方式により通信を行う光バーストスイッチングネットワーク70は、光バーストスイッチングネットワーク70とアクセスネットワーク71を接続しバーストデータを送出するエッジノード73と、制御チャンネルにより伝送される制御パケットの情報に従い、バーストデータの伝送路を切替える中継ノードにより構成され、エッジノードと中継ノード、あるいは、中継ノード間には、WDM信号光により構成されるN本のデータチャンネルで結ばれている。

【0024】

図18(b)は、光バーストスイッチング方式による通信における、制御パケットとバーストデータとの時間関係を示したものである。光バーストスイッチング方式による通信では、エッジノード73より、データに先立ち制御パケットが制御チャンネルに送出される。制御パケットは、中継ノード74で電気に変換して処理され、制御パケットの内容に基づき中継ノード74におけるデータチャンネルの切替えがなされる。制御パケット送信後、オフセット時間T1において、バーストデータが送信され、制御パケットの内容に基づいて切替えがなされた中継ノードを光のまま中継され、目的のエッジノードに伝送される。

【0025】

光バーストスイッチング方式において伝達されるバーストデータには、バーストデータの伝達に必要な時間だけ、特定の波長のデータチャンネルが割当てられるので、光ネットワークの利用効率を高めることができる。

【0026】

光バーストスイッチング方式におけるデータチャンネルのスイッチ時間T2は、ミリ秒オーダー以下の時間であり、図18(a)に示される中継ノードのスイッチ切替え時間としては、ミリ秒オーダー以下の切替え時間が要求される。

【特許文献1】特開2000-241782号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0027】

AOTFを用いた可変波長デバイスをストリーム通信において用いる場合、通信開始前に目的の波長が選択されるようにRF信号が調整される。通信開始後は、入力された目的の波長の信号光に追従する(トラッキング)調整を行うことにより、温度変化等によるRF信号周波数と選択波長の関係の変化に対応することができるので、通信開始前の調整だけを考えれば十分である。

【0028】

一方、光バーストスイッチング方式では、バーストデータの伝達に必要な時間だけ、ある波長のデータチャンネルが割当てられるので、トラッキングによるRF信号周波数と選択波長の関係修正では不十分であり、波長切替えの度にRF信号周波数と選択波長の関係が正しく認識されている必要がある。

【0029】

また、AOTF等の可変波長選択デバイスを用いるOADM装置では、可変波長選択デバイスの選択光波長を変化させることにより、広い範囲で単一波長の分岐光を得ることができるが

、WDM通信において多重化される波長数が増加し、ネットワークの各地点において分岐・挿入する信号数が増加した場合、分岐・挿入する信号数だけAOTF等の可変波長選択デバイスを揃える必要がある。

【0030】

このため、OADM装置において、分岐・挿入する信号光数を増加させるためには、分岐・挿入の数に応じた可変波長選択デバイスを備える必用があり、製造コストが増大する。

【課題を解決するための手段】

【0031】

本発明は、上記課題を解決するものであって、第1の発明による波長選択モジュールは、複数の異なる波長の光が多重化された光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、前記波長選択部の出力光を波長ごとに分波し出力する分波手段を備えたことを特徴とする。

【0032】

第2の発明による波長選択モジュールは、第1の発明による波長選択モジュールであって、前記分波手段の出力光を入力し、不要の波長の光を減衰して出力する手段を備えたことを特徴とする。

【0033】

第3の発明による波長選択モジュールは、複数の異なる波長の光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、前記波長選択部の出力を第1および第2の光に分岐する分岐手段と、前記第2の光を入力し特定の波長の光を選択的に透過する第1のフィルタと、前記制御信号と前記第1のフィルタの出力と前記フィルタの透過波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする。

【0034】

第4の発明による波長選択モジュールは、出力波長が一定である基準光源と、複数の異なる波長の光を含む入力光と前記基準光源の出力光を合波する合波手段と、前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、前記波長選択部の出力を第1および第2の光に分岐する分岐手段と、前記第2の光を入力し前記基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第1のフィルタと、前記制御信号と前記第1のフィルタの出力と前記基準光源の波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする。

【0035】

第5の発明による波長選択モジュールは、出力波長が一定である第1および第2の基準光源と、複数の異なる波長の光を含む入力光と前記第1および第2の基準光源の出力光を合波する合波手段と、前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、前記波長選択部の出力を第1ないし第3の光に分岐する分岐手段と、前記第2の光を入力し前記第1の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第1のフィルタと、前記第3の光を入力し前記第2の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第2のフィルタと、前記制御信号と前記第1のフィルタの出力と前記第1の基準光源の波長の関係および前記制御信号と前記第2のフィルタの出力と前記第2の基準光源の波長の関係に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする。

【0036】

第6の発明による波長選択モジュールは、第3ないし第5の発明による波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第1または第2のフィルタにより選択的に透過される光を前記波長選択部で連続的に選択するように前記制御信号を制御することを特徴とする。

【0037】

第7の発明による波長選択モジュールは、第3ないし第5の発明による波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第1または第2のフィルタにより選択的に透過される光

に対応する前記制御信号の出力を抑制することにより、前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長の前記第 1 の光への出力を抑制することを特徴とする。

【0038】

第 8 の発明による波長選択モジュールは、第 3 ないし第 5 の発明による波長選択モジュールであって、第 1 の光を入力し前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長を減衰する第 3 のフィルタを備えることを特徴とする。

【0039】

また、本発明による可変波長選択モジュールを光挿入・分岐装置に適用することにより、使用する波長選択部の数を大幅に増やすことなく、同時に分岐・挿入することのできる信号光波長数を増やすことができる。

【発明の効果】

【0040】

本発明による波長選択モジュールによれば、波長多重された複数の異なる波長の光から、選択的に 2 つ以上の異なる波長の光を多重分離して出力する波長選択モジュールが構成される。

【0041】

また、本発明による波長選択モジュールを光挿入・分岐装置に適用することにより、使用する波長選択部の数を大幅に増やすことなく、同時に分岐・挿入することのできる信号光波長数を増やすことができる。

【0042】

また、本発明による波長選択モジュールによれば、特定の波長の光を選択中に、制御信号と選択波長の関係を調整することができるので、光バーストスイッチング方式等の運用形態等の選択波長が頻繁に切り替わり制御信号と選択波長の関係を調整する時間を別途設けることができない場合においても、目的の波長の信号光を選択することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0043】

〔a〕第 1 の実施形態

以下、本発明の実施形態を示す。図 1 に示される本発明の第 1 の実施形態による波長選択モジュールは、波長選択部 1 A と、制御部 (CTRL) 3 A、RF 信号発生部 (RF OSC) 2 A ~ 2 B、混合部 (Mixer) 7 A、モニタ部 (MON) 4 A、カプラ 9 A と、分波手段としての波長分離フィルタ 8 A、光フィルタ 5 A ~ 5 B により構成される。

【0044】

波長選択部 1 A は複数波長の光が多重化された入力光から、外部の制御信号により複数の波長の光を選択し出力することができる波長選択素子であり、AOTF 等の素子を用いることができる。

【0045】

AOTF は、図 1 8 に示されるように、入力 (IN) ポートに入力した光のうち、RF 信号入力ポートを通じて IDT 2 1 A に印加された RF 信号の周波数に対応した波長の光を選択し、分岐 (DROP) ポートより出力する。RF 信号入力ポートに複数の周波数の RF 信号を入力した場合は、それぞれの RF 信号周波数に対応した波長の光が選択され、出力される。

【0046】

RF 信号発生部 2 A および 2 B は、制御部 3 A の制御により、目的とする選択波長に対応する RF 信号を発生する。図 1 3 (a) および (b) は、RF 信号発生部の構成の一例を示したものであり、デジタル直接合成発振器 (DDS; Direct Digital Synthesizer) より発生した RF 信号を増幅・フィルタし出力することにより、目的の周波数の RF 信号を出力する。

【0047】

カプラ 9 A は、波長選択部 1 A より出力された光の一部をモニタ部 4 A に分波し、残りの光を波長分離フィルタ 8 A に出力する。

【0048】

波長分離フィルタ 8 A は、カプラ 9 A からの出力を、光フィルタ 5 A および光フィルタ

5 Bに分離するフィルタである。第1の実施形態による波長分離フィルタ8 Aは、カプラ9 Aより出力された光のうちCバンドの波長領域にある光を光フィルタ5 Aに、Lバンドの波長領域にある光を光フィルタ5 Bに分波し出力する。

【0049】

波長分離フィルタ8 Aとしては、大きな帯域波長を分けることができるローパスフィルタまたはハイパスフィルタを用いることができ、ローパスフィルタまたはハイパスフィルタの透過波長と反射波長の光を用いれば、波長帯域を2分割し、別々の出力とすることができる。波長帯域を2分割するフィルタの構成は、特定の波長を抽出するフィルタの構成よりも簡単であり、低コストである。

【0050】

光フィルタ5 AはCバンド領域の光のみを透過する光フィルタであり、波長分離フィルタ8 Aにより分波された光のCバンド領域以外の光を減衰させるので、波長選択部1 Aにより選択されたCバンドの光のみが光フィルタの出力(OUT)ポート1に出力される。

【0051】

同様に、光フィルタ5 BはLバンド領域の光のみを透過する光フィルタであり、波長分離フィルタ8 Aにより分波された光のLバンド領域以外の光を減衰させるので、波長選択部1 Aにより選択されたLバンドの光のみが光フィルタの出力(OUT)ポート2に出力される。

【0052】

光フィルタ5 Aおよび5 Bは、波長分離フィルタ8 Aの分波動作を補うフィルタであるので、透過帯域が広い、ローパスフィルタやハイパスフィルタ等のコストの安いフィルタを用いることができる。

【0053】

すなわち、安価な構成の波長分離フィルタ8 Aと、安価な光フィルタ5 Aおよび5 Bを組み合わせることで、波長選択部1 Aで選択した複数波長の光は、単波長を選択したときと同様に、出力(OUT)ポート1および2より出力することができる。

【0054】

モニタ部4 Aは、カプラ9 Aにより分波された光を入力し、その強度をデジタル信号として制御部3 Aに出力する。図16(a)は、モニタ部4 Aの一例であり、入力された光をフォトダイオード(PD)55 Aで受光し、電気信号に変換した後、電流-電圧変換用Logアンプ56 AによりLogレベルで増幅する。電流-電圧変換用Logアンプ56 Aの出力は、非反転増幅器57 Aで増幅され、ローパスフィルタ(LPF)58 Aでフィルタされた後、アナログ-デジタル変換器(ADC)31 Aによりデジタル信号へと変換され、出力される。モニタ部4 Aでは、電流-電圧変換用Logアンプ56 Aを用いることにより、幅広いダイナミックレンジの強度の光をデジタル信号として出力することができるので、波長分離フィルタ8 Aにより分波されて入力した光の強度の大小に関わらず、入力光強度と関連付けられたデジタル信号として出力することができる。

【0055】

制御部3 Aは、モニタ部から出力されるデジタル信号を入力し、RF信号発生部2 Aおよび2 Bから発生する周波数・振幅・位相を規定する制御信号を出力する。制御部3 Aは、図16(b)に示されるように、MPU部27 A、ROM部28 A、RAM部29 A、EEPROM部30 Aにより構成される。ROM部27 Aは、制御部を動作させるプログラム等を格納手段として、RAM部29 Aは一時的なデータ記憶手段として、EEPROM部30 Aは設定情報を記憶する手段として用いられる。

【0056】

(RF信号発生部の構成1)

図13(a)は、乗算器により選択波長に対応するRF信号を発生させるRF信号発生部の構成であり、特願2000-149555号出願明細書に記載されたものである。図13(a)に示されるRF信号発生部は、DDS51 A、バンドパスフィルタ(BPF)52 A~52 C、高周波増幅器(RF AMP)53 A~53 C、乗算器54 Aにより構成される。

【 0 0 5 7 】

DDS 5 1 A は、外部からの制御信号により指定された周波数（85MHz～90MHz）の、位相が互いに $\pi/2$ ずれた RF 信号（以後、両者をサイン波信号、コサイン波信号と呼ぶ）を出力する。DDS 5 1 A より出力されたサイン波信号およびコサイン波信号は、それぞれバンドパスフィルタ 5 2 A または 5 2 B により不要波成分を除去され、高周波増幅器 5 3 A または 5 3 B により増幅されて、乗算器 5 4 A に入力する。

【 0 0 5 8 】

サイン波信号とコサイン波信号は、位相が互いに $\pi/2$ ずれているので、乗算器 5 4 A により乗算されて、2 倍の周波数（170MHz～180MHz）で出力される。乗算器 5 4 A により出力された RF 信号は、バンドパスフィルタ 5 2 C により不要波成分を除去され、高周波増幅器 5 3 C により増幅されて、RF 信号発生部の出力として出力する。

【 0 0 5 9 】

図 1 3（a）に示される RF 信号発生部では、DDS が直接出力できる RF 信号の周波数が、波長選択部の選択波長に対応する周波数（170MHz～180MHz）に至らない場合であっても、乗算器を用いることにより、波長選択部の選択波長に対応する周波数（170MHz～180MHz）を出力する。

【 0 0 6 0 】

（DDS の構成 1）

図 1 4 は図 1 3（a）に用いられる DDS 5 1 A の構成を示したものであり、図 1 4 に示される DDS は、レファレンスクロック乗算器 6 5 A、位相演算器 6 1 A、サイン波／振幅コンバータ 6 2 A、コサイン波／振幅コンバータ 6 2 B、デジタル乗算器 6 6 A～6 6 B、DA 変換器（DAC）6 3 A～6 3 B、周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A、データ入力レジスタ 6 4 B により構成される。

【 0 0 6 1 】

図 1 4 において、外部制御機器からの周波数・位相・振幅の設定情報は、データ入力レジスタ 6 4 B に、ライトタイミング信号、パラレルアドレス信号、パラレルデータ信号として入力される。入力されたそれぞれの情報は、データ入力レジスタ 6 4 B から周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A に入力され、周波数についての位相設定情報は位相演算器 6 1 A に、振幅設定情報はデジタル乗算器 6 6 A および 6 6 B にそれぞれ入力される。

【 0 0 6 2 】

また、DDS 5 1 A の外部からのレファレンスクロック信号を基に、レファレンスクロック乗算器 6 5 A は基準クロック信号を生成し、位相演算器 6 1 A、デジタル乗算器 6 6 A～6 6 B、DA 変換器 6 3 A～6 3 B に加える。位相演算器 6 1 A は、基準クロック信号による基準時間毎に、0～ 2π の位相情報をサイン波／振幅コンバータ 6 2 A とコサイン波／振幅コンバータ 6 2 B に入力する。サイン波／振幅コンバータ 6 2 A は、サイン波／振幅コンバータ 6 2 A 内に保持するサイン波ルックアップテーブルにより振幅データに変換し、コサイン波／振幅コンバータ 6 2 B は、コサイン波／振幅コンバータ 6 2 B に保持するコサイン波ルックアップテーブルにより振幅データに変換する。これにより、位相演算器から出力される 0～ 2π の位相情報に従って、サイン波／振幅コンバータ 6 2 A からサイン波の振幅情報のデジタル信号が、コサイン波／振幅コンバータ 6 2 B からコサイン波の振幅情報のデジタル信号がそれぞれ出力される。

【 0 0 6 3 】

デジタル乗算器 6 6 A は、サイン波／振幅コンバータ 6 2 A から入力されるサイン波の振幅情報のデジタル信号と、周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A から入力される振幅設定情報による振幅値とを乗算し、DA 変換器 6 3 A に出力する。同様に、デジタル乗算器 6 6 B は、コサイン波／振幅コンバータ 6 2 B から入力されるコサイン波の振幅情報のデジタル信号と、周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A から入力される振幅設定情報による振幅値とを乗算し、DA 変換器 6 3 B に出力する。

【 0 0 6 4 】

DA変換器 6 3 A および 6 3 B は、それぞれデジタル乗算器 6 6 A および 6 6 B より出力されたデジタル信号をアナログ信号へと変換し、それぞれサイン波信号およびコサイン波信号として出力する。

【 0 0 6 5 】

図 1 4 に示される DDS の構成では、サイン波およびコサイン波のデジタル信号の振幅情報と、周波数・位相・振幅プログラムレジスタの振幅設定情報に基づき、出力するサイン波信号およびコサイン波信号の振幅を定めるので、可変減衰器を設けることなく、所望の振幅値の信号出力に制御することができる。

【 0 0 6 6 】

また、DDS の出力周波数を変化させる場合、パラレルデータ信号により位相演算器 6 1 A に加えられる周波数についての位相設定情報を変え、出力信号の周波数を変化させるので、PLL 回路を用いた場合の周波数変化と比較して迅速である。DDS を波長選択部の RF 信号源に用いた場合、波長選択部の選択周波数切替えに要する時間は、例えば $1 \mu s$ 程度とすることができ、PLL を波長選択部の RF 信号源に用いた場合と比較して、約 1 0 0 0 倍高速である。

【 0 0 6 7 】

(RF 信号発生部の構成 2)

図 1 3 (b) は、乗算器により選択波長に対応する RF 信号を発生させる RF 信号発生部の別の構成である。図 1 3 (b) に示される RF 信号発生部は、DDS 5 1 B、バンドパスフィルタ (BPF) 5 2 D、高周波増幅器 (RF AMP) 5 3 D により構成される。

【 0 0 6 8 】

DDS 5 1 B は、外部からの制御信号により指定された周波数 (170MHz~180MHz) を出力する。DDS 5 1 B より出力された RF 信号は、バンドパスフィルタ 5 2 D により不要波成分を除去され、高周波増幅器 5 3 D により増幅されて、RF 信号発生部の出力として出力する。

【 0 0 6 9 】

図 1 3 (b) に示される RF 信号発生部では、波長選択部の選択波長に対応する周波数 (170MHz~180MHz) を DDS が直接出力できるため、DDS が直接出力できる周波数範囲が狭い図 1 3 (a) の場合に比べて、構成が簡素となる。

【 0 0 7 0 】

(DDS の構成 2)

図 1 5 は図 1 3 (b) に用いられる DDS 5 1 B の説明図であり、レファレンスクロック乗算器 6 5 A、位相演算器 6 1 A、サイン波／振幅コンバータ 6 2 A、デジタル乗算器 6 6 A、DA 変換器 (DAC) 6 3 A、周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A、データ入力レジスタ 6 4 B により構成される。

【 0 0 7 1 】

図 1 5 に示される DDS は、図 1 4 に示される DDS の構成と基本的に同じであるが、位相演算器 6 1 A、デジタル乗算器 6 6 A、DA 変換器 6 3 A が、図 1 4 に示される DDS よりも高速に動作することができるため、基準クロック信号を高速に設定して演算速度を高速することにより、波長選択部の選択波長に対応する周波数 (170MHz~180MHz) を直接出力できる点で図 1 4 に示される DDS と異なる。

【 0 0 7 2 】

図 1 5 において、外部制御機器からの周波数・位相・振幅の設定情報は、データ入力レジスタ 6 4 B に、ライトタイミング信号、パラレルアドレス信号、パラレルデータ信号として入力される。それぞれの情報は、データ入力レジスタ 6 4 B から周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 6 4 A に入力され、周波数についての位相設定情報は位相演算器 6 1 A に、振幅設定情報はデジタル乗算器 6 6 A に入力される。

【 0 0 7 3 】

また、DDS 5 1 B の外部からのレファレンスクロック信号を基に、レファレンスクロック乗算器 6 5 A は基準クロック信号を生成し、位相演算器 6 1 A、デジタル乗算器 6 6 A

、DA変換器 63Aに加える。位相演算器 61Aは、基準クロック信号による基準時間毎に、 $0 \sim 2\pi$ の位相情報をサイン波／振幅コンバータ 62Aに入力する。サイン波／振幅コンバータ 62Aは、サイン波／振幅コンバータ 62A内に保持するサイン波ルックアップテーブルにより振幅データに変換する。これにより、位相演算器から出力される $0 \sim 2\pi$ の位相情報に従って、サイン波／振幅コンバータ 62Aからサイン波の振幅情報のデジタル信号が出力される。

【0074】

デジタル乗算器 66Aは、サイン波／振幅コンバータ 62Aから入力されるサイン波の振幅情報のデジタル信号と、周波数・位相・振幅プログラムレジスタ 64Aから入力される振幅設定情報による振幅値とを乗算し、DA変換器 63Aに出力する。DA変換器 63Aはデジタル乗算器 66Aからの出力デジタル信号をアナログ信号へと変換し、サイン波信号として出力する。

【0075】

図 15に示されるDDSの構成では、サイン波のデジタル信号の振幅情報と、周波数・位相・振幅プログラムレジスタの振幅設定情報に基づき、出力するサイン波信号の振幅を定めるので、可変減衰器を設けることなく、所望の振幅値の信号出力に制御することができる。

【0076】

また、波長選択部の選択波長に対応する周波数(170MHz~180MHz)をDDSが直接出力できるため、DDSの後段に周波数を通倍する構成、例えば乗算器等を備えなくてもよく、更なる回路の小型が可能である。

【0077】

さらに、DDSの出力周波数を変化させる場合、パラレルデータ信号の変化により位相演算器 61Aに加えられる周波数についての位相設定情報に変化させ、出力信号の周波数を変化させるので、PLL回路を用いた場合の周波数変化と比較して迅速である。DDSを波長選択部のRF信号源に用いた場合、波長選択部の選択周波数切替えに要する時間は、例えば1 μ s程度とすることができ、PLLを波長選択部のRF信号源に用いた場合と比較して、約1000倍高速である。

【0078】

(第1の実施形態による波長選択動作)

次に、本発明の第1の実施形態による波長選択モジュールの動作について説明する。

【0079】

図 1に第1の実施形態による波長選択モジュールの構成を示す。また、図 2(a)~(d)に第1の実施形態による波長選択モジュールの各段階の構成における光のスペクトルを、横軸を波長、縦軸を光強度としたものを模式的に示す。図 2(a)は波長選択部 1Aの入力ポートに入力する光のスペクトルを、図 2(b)は波長選択部 1Aの出力ポートより出力され波長分離フィルタ 8Aに入力する光のスペクトルを、図 2(c)は波長分離フィルタ 8Aより出力され光フィルタ 5Aに入力する光のスペクトルを、図 2(d)は光フィルタ 5Aの出力(OUT)ポートに出力される光のスペクトルをそれぞれ示す。

【0080】

図 1において、入力したWDM信号光は、波長選択部 1Aの入力ポートに入力される。波長選択部 1Aに入力された光は、図 2(a)に示されるように、CバンドおよびLバンドの光が波長多重された光である。波長選択部 1AのRF信号入力ポートには、RF信号発生部 2Aおよび2Bから、混合部 7Aを通じて、複数年周波数を含むRF信号が入力される。

【0081】

波長選択部 1Aとして図 18に示されるAOTFを用いた場合、波長選択部 1Aの入力ポートはAOTFの入力(IN)ポートに、波長選択部 1Aの出力ポートはAOTFの分岐(DROP)ポートに対応する。AOTFの入力(IN)ポートに入力したWDM信号光のうち、印加されたRF信号の周波数に対応する波長の光は、モード変換されることにより分岐(DROP)ポートに出力され、その他の波長の光は透過(THRU)ポートに出力される。混合部 7Aより波長選択部 1Aに

出力されるRF信号は、RF信号発生部 2 A および 2 B から出力されたものであり、その周波数は制御部 3 A により定められる。

【 0 0 8 2 】

RF信号発生部 2 A および 2 B により出力されるRF信号の周波数をそれぞれ f_1 および f_2 、波長選択部 1 A に周波数 f_1 および f_2 のRF信号が入力された場合にモード変換される光の波長をそれぞれ λ_1 、 λ_2 とすると、波長は λ_1 、 λ_2 の光が波長選択部 1 A であるAOTFの分岐 (THRU) ポートより出力される。

【 0 0 8 3 】

ここで、 λ_1 を C バンドの波長帯域に、 λ_2 を L バンドの波長帯域にあるように、 f_1 および f_2 を定める。これにより、図 2 (b) に示されるように、波長選択部 1 A の分岐 (DROP) ポートからの出力光は、C バンドの波長領域にある光 (波長 λ_1) と、L バンドの波長領域にある光 (波長 λ_2) とが多重化されたものとなる。

【 0 0 8 4 】

波長分離フィルタ 8 A は、C バンドの波長領域にある光を光フィルタ 5 A に、L バンドの波長領域にある光を光フィルタ 5 B に出力するフィルタであるので、波長 λ_1 の光は光フィルタ 5 A に出力され、波長 λ_2 の光は光フィルタ 5 B に出力される。図 2 (c) 実線は波長分離フィルタ 8 A より出力され光フィルタ 5 A に入力する光のスペクトルであり、C バンドの波長領域にある波長 λ_1 の光と、波長分離フィルタ 8 A のアイソレーションが完全でないことに起因する、L バンドの波長領域にある波長 λ_2 の光が波長分離フィルタ 8 A より光フィルタ 5 A に出力される。

【 0 0 8 5 】

光フィルタ 5 A は C バンド領域の光のみを透過する光バンドパスフィルタであり、図 2 (c) 点線で示される特性を持つので、波長分離フィルタ 8 A より光フィルタ 5 A に入力された光は、この特性に従いフィルタされる。これにより、光フィルタ 5 A の出力は、図 2 (d) に示されるように、波長 λ_1 の光のみとなり、出力 (OUT) ポート 1 に出力される。

【 0 0 8 6 】

同様に、波長分離フィルタ 8 A より光フィルタ 5 B に入力する光も、光フィルタ 5 B の L バンド領域の光のみを透過する特性によりフィルタされ、光フィルタ 5 B の出力は、波長 λ_2 の光のみとなり、出力 (OUT) ポート 2 に出力される。

【 0 0 8 7 】

また、カプラ 9 A より分波され、モニタ部 (MON) 4 A に入力した光の強度は、図 1 6 (a) に示されるように、デジタル信号として制御部 3 A に出力されるので、この信号を用いて、RF信号発生部 2 A および 2 B から出力されるRF信号の強度や周波数を制御することができる。

【 0 0 8 8 】

(第 1 の実施形態による選択波長補正動作)

第 1 の実施形態において、波長選択部の温度が変動し、RF信号周波数と選択波長との関係が変化した場合、RF信号発生部 2 A または 2 B の出力周波数を変化させ、モニタ部 4 A の出力信号を利用することにより、目的の波長の光を選択できるように補正することができる。

【 0 0 8 9 】

波長選択部の選択波長スペクトルは、選択波長の上下にサイドローブを持つが、サイドローブの強度は選択波長の光強度よりも弱いので、モニタ部 4 A の出力である ADC 3 1 A の電圧値により、波長選択部 1 A に印加しているRF信号周波数に対応した波長が、波長選択部の入力光波長であることを識別することができる。波長選択部としてAOTFを用いた場合、図 1 8 に示されるように、IDT 2 1 A に印加するRF信号の周波数を増加させると、SAW導波路 2 2 A を伝搬するSAWの波長は短くなるので、波長選択部により選択される光の波長も短くなる。

【 0 0 9 0 】

RF信号周波数と選択波長は反比例の関係にあり、RF信号周波数の微小な減少に対しては、選択波長は比例して増加する。したがって、ある光波長に対応するRF信号周波数と、RF信号周波数に対する光波長の変化率が得られれば、任意の光波長に対応するRF信号周波数を算出することができる。RF信号周波数に対する光波長の変化率は温度に対してほとんど変化しないので、この値を記憶しておけば、ある光波長に対応するRF信号周波数を得ることにより、任意の波長の光に対応するRF信号周波数を得ることができる。

【0091】

同様に、あるチャンネルのWDM信号に対応するRF信号の周波数と、WDM信号光1チャンネルあたりのRF周波数が得られれば、別のチャンネルのWDM信号に対応するRF信号の周波数を得ることができる。

【0092】

以下に、図3(a)を参照しながら、第1の実施形態における、温度変化等によるRF信号周波数と選択波長の関係の変化を補正する方法について説明する。

【0093】

まず、波長選択部1Aに印加するRF信号を1つの周波数のみとする。図3(a)は、波長選択部1Aの選択波長を長波長側から減少させるときの、WDM信号光と選択波長との関係を、横軸に波長、縦軸に光の強度をとり、模式的に表したものである。RF信号発生部2Aより出力するRF信号の周波数を170MHzから1kHzステップで増加させると、RF信号の周波数の増加により、波長選択部1Aの選択波長は減少するので、図3(a)点線で示されるように波長選択部1Aの選択波長は短波長側へと変化する。

【0094】

RF信号の周波数を増加させ、波長選択部の選択波長を短波長側へと変化させることにより、モニタ部4Aの出力が最初に入力光の選択状態となったとき、モニタ部4Aのピーク出力時に波長選択部1Aに印加しているRF信号の周波数を、最長波長に対応するRF周波数 f_L として記録する。周波数 f_L のRF信号に対応する選択波長 λ_L は、図3(a)に示されるように、WDM信号光の最長波長の信号光波長である。

【0095】

図3(a)は、波長選択部1Aの選択波長を長波長側から減少させるときの、WDM信号光と選択波長との関係を、横軸に波長、縦軸に光の強度をとり、模式的に表したものである。次に、RF信号発生部2Bより出力するRF信号の周波数を180MHzから1kHzステップで減少させると、RF信号の周波数の減少により、波長選択部1Aの選択波長は増加するので、図3(b)点線で示されるように波長選択部1Aの選択波長は長波長側へと変化する。

【0096】

RF信号の周波数を減少させ、波長選択部の選択波長を長波長側へと変化させることにより、モニタ部4Aの出力が最初に入力光の選択状態となったとき、モニタ部4Aのピーク出力時に波長選択部1Aに印加しているRF信号の周波数を、最長波長に対応するRF周波数 f_H として記録する。周波数 f_L のRF信号に対応する選択波長 λ_L は、図3(b)に示されるように、WDM信号光の最短波長の信号光波長である。

【0097】

WDM通信において通常用いられる監視制御光の情報等により得られるWDM信号の信号数と、 f_L および f_H の差から、WDM信号光1チャンネルあたりのRF周波数 Δf を求めることができるので、最短波長からn番目の信号光波長に対応するRF信号の周波数は、 $f_H - (n - 1) \times \Delta f$ として得られる。したがって、波長選択部の温度変化によるRF信号周波数と選択波長の関係が変化しても、モニタ4Aの出力を利用することにより補正をすることができる。

【0098】

このように、本発明の第1の実施形態によれば、1つの波長選択部を用いて、波長多重されていない2波長の光を選択し、出力することができる波長選択モジュールを簡易に構成することができる。

【0099】

また、モニタ出力を利用し、WDM信号光の最長波長と最短波長に対応するRF信号周波数を記録し、他より得られるWDM信号光の信号数とを組み合わせることにより、波長選択部の温度変化等によるRF周波数と選択波長関係の変化を補正することができる。

【0100】

さらに、波長選択部としてAOTFを用いた場合では、複数の波長の光を同時に選択する場合、同時に選択することによる引き寄せ効果等の影響を考慮してRF信号の周波数を定める必要があるが、第1の実施形態のように λ_1 をCバンドの波長帯域に、 λ_2 をLバンドの波長帯域にあるように選択光の波長を定めた場合は、両者の選択波長が離れているので、引き寄せ効果の影響はほとんど考慮しなくてもよい。

【0101】

〔b〕第2の実施形態

図5に本発明の第2の実施形態による波長選択モジュールを示す。第2の実施形態による波長選択モジュールは、複数波長を選択可能な波長選択部1Aと、制御部(CTRL)3A、RF信号発生部(RF OSC)2A~2B、混合部(Mixer)7A、モニタ部(MON)4A~4B、光フィルタ5C~5D、カプラ9A~9Bにより構成される波長選択モジュールである。波長選択部1A、RF信号発生部2A~2B、混合部7Aの動作は第1の実施形態と同様である。

【0102】

第2の実施形態においては、波長選択部としてAOTFを用い、AOTFに印加されるRF信号の周波数とAOTF選択波長の関係の補正を、監視制御光を用いて行う波長選択モジュールである。

【0103】

光フィルタ5Cは監視制御光の波長を減衰させるフィルタであり、カプラ9Aで分岐された光のうち、カプラ9Bを通じて出力される波長選択モジュールの出力に監視制御光が含まれないように、監視制御光波長を阻止し、他の波長の光を透過する。

【0104】

一方、光フィルタ5Dは、カプラ9Aより分岐された光より、監視制御光波長の光を選択的に透過するフィルタであり、フィルタ後の光はモニタ4Aに入力される。監視制御光の波長を選択的に透過するとは、波長選択部1Aより出力される光のうち、監視制御光の波長のみが透過されるということであり、例えば、波長多重された信号光の波長よりも監視制御光の波長が短い場合はローパスフィルタを用いることができるし、波長多重された信号光の波長の間に監視制御光がある場合は、バンドパスフィルタを用いることができる。

【0105】

モニタ部4Aは、カプラ9Aにより分波され、フィルタ5Dによりフィルタされた光を入力し、その強度をデジタル信号として制御部3Aに出力する。モニタ部4Aの構成は、第1の実施形態におけるモニタ部と同様であり、ダイナミックレンジの広い電流-電圧変換用Logアンプにより得られる、入力光強度と関連付けられたデジタル信号を、制御部3Aに出力する。

【0106】

第2の実施形態では、印加されたRF信号周波数に対応する波長の光が波長選択部1Aよりカプラ9Aに出力されるので、カプラ9Bおよび波長選択モジュールの出力には、波長選択部1Aの選択光のうち、監視制御光波長以外の光が出力される。また、モニタ4Aには、監視制御光波長に対応する周波数のRF信号が波長選択部1Aに印加されたときは、監視制御光が入力される。

【0107】

制御部3Aは、モニタ部4Aから出力されるデジタル信号を入力し、RF信号発生部2Aおよび2Bから発生する周波数・振幅・位相を規定する制御信号を出力する。制御部3Aは、第1の実施形態と同様、図16(b)に示される構成となっている。

【0108】

(第2の実施形態の動作説明)

次に、本発明の第2の実施形態による波長選択モジュールの動作について説明する。

【0109】

図5に示される、本発明の第2の実施形態による波長選択モジュールは、波長選択部1AであるAOTFに印加されるRF信号の周波数とAOTF選択波長の関係の補正を、監視制御光を用いて行う波長選択モジュールである。

【0110】

第2の実施形態においては、カプラ9Aの分岐光のうち、波長選択モジュールの出力光となる光には、監視制御光を阻止するフィルタ5Cを、監視制御光をモニタするモニタ4Aに入力される光には、監視制御光以外のWDM信号光等を阻止するフィルタ5Dを設けている。

【0111】

フィルタ5Cおよび5Dを設けることにより、監視制御光を選択するように、波長選択部1Aに印加するRF信号を変化させる動作を、WDM信号光を選択する動作に影響を与えずに行うことができるので、RF信号と選択波長の関係を補正する動作を、WDM信号光の選択動作とは独立に行うことができる。

【0112】

これにより、例えば、バーストスイッチング方式に用いられる波長スイッチ等の、新たな波長の選択を行う際に許容される時間が短く、新たな波長の選択を行う前にRF信号周波数と選択波長の関係を調整することができない場合においても、常にRF信号周波数と選択波長の関係を調整することができるので、新たな波長の光を選択する際に、正しい波長の選択を行うことができる。

【0113】

図5において、波長選択モジュールに入力された監視制御光およびWDM信号光は、波長選択部1Aに入力される。波長選択部1AのRF信号入力ポートには、RF信号発生部2Aおよび2Bから、混合部7Aを通じて、複数周波数を含むRF信号が入力される。

【0114】

第1の実施形態と同様に、波長選択部1Aとして図18に示されるAOTFを用いた場合、波長選択部1Aの入力ポートはAOTFの入力(IN)ポートに、波長選択部1Aの出力ポートはAOTFの分岐(DROP)ポートに対応する。AOTFの入力(IN)ポートに入力したWDM信号光のうち、印加されたRF信号の周波数に対応する波長の光は、モード変換されることにより分岐(DROP)ポートに出力され、その他の波長の光は透過(THRU)ポートに出力される。混合部7Aより波長選択部1Aに出力されるRF信号は、RF信号発生部2Aおよび2Bから出力されたものであり、その周波数は制御部3Aにより定められる。

【0115】

RF信号発生部2Aおよび2Bにより出力されるRF信号の周波数をそれぞれ f_1 および f_2 、波長選択部1Aに周波数 f_1 および f_2 のRF信号が入力された場合にモード変換される光の波長をそれぞれ λ_1 、 λ_2 とすると、波長は λ_1 、 λ_2 の光が波長選択部1AであるAOTFの分岐(THRU)ポートより出力される。

【0116】

第2の実施形態においては、波長選択部1Aが複数波長を選択可能であることを利用し、選択波長として選択波長モジュールとして出力される1または複数の光の波長を選択するとともに、監視制御光の波長を選択している。

【0117】

監視制御光は、WDM信号光に影響を与えないように、WDM信号光の波長から離れた波長に配置され、また、信号光とは異なり、停波することがない。監視制御光の波長がWDM信号光の波長よりも短い場合における、RF信号周波数と選択波長の関係の補正について、以下に説明する。

【0118】

図4グラフ横軸下の軸に示されるように、波長選択部1AとしてAOTFを用いた場合、波

長選択部 1 A に印加する RF 周波数を増加させることにより波長選択部 1 A の選択波長は減少する。

【0119】

RF 信号発生部 2 A より出力する RF 信号の周波数を 180MHz から 1kHz ステップで減少させると、RF 信号の周波数の現象により、波長選択部 1 A の選択波長は増加するので、波長選択部 1 A の選択波長は短波長側から長波長側へと変化する。

【0120】

監視制御光の波長は WDM 信号光の最短波長よりも長いので、RF 信号の周波数を減少させ、波長選択部の選択波長を長波長側へと変化させる。フィルタ 5 D により、監視制御光の波長のみが透過されるので、モニタ部 4 A にモニタされた監視制御光の強度が最大となった時に、波長選択部 1 A に印加している RF 信号の周波数を、監視制御光の波長 λ -OSC に対応する RF 周波数 f -OSC として記録する。

【0121】

第 1 の実施形態において説明したように、RF 信号周波数に対する光波長の変化率をあらかじめ記憶しておけば、ある光波長に対応する RF 信号周波数を得ることにより、任意の波長の光に対応する RF 信号周波数を得ることができる。第 2 の実施形態においては、WDM 信号光の各チャンネルの周波数を監視制御信号等から得ることができるので、監視制御光の波長 λ -OSC に対応する RF 信号周波数 f -OSC を求めることにより、WDM 信号光の各チャンネルの光波長に対応する RF 信号周波数を求めることができる。

【0122】

したがって、波長選択部の温度変化による RF 信号周波数と選択波長の関係が変化しても、監視制御光を利用することにより、RF 周波数と選択波長関係の変化を補正することができる。

【0123】

上記のように、光強度の最大値を与える RF 信号の周波数を判別するために、RF 信号の周波数を第 1 の周波数間隔、例えば 1kHz、で変えながら光強度検出手段によって所定波長の光信号を検出し、その光強度が最大となる第 1 の最大値を判別する動作をスキャンニングという。

【0124】

上述のスキャンニングにより、監視制御光に対応する RF 信号周波数 f -OSC を検出後は、以下に述べるトラッキング処理により、波長選択部 1 A の特性変化に対応し、RF 周波数と選択波長関係の変化の補正を行うことができる。

【0125】

目的の光波長に対応する RF 周波数の前後で微小に周波数を変化させ、モニタされた選択光強度が最大となる周波数を探索する動作を定期的に行うことを周波数トラッキングという。温度変化や経年変化など周囲環境変化による AOTF の特性変化により、目的の光波長に対応する RF 周波数が変化するが、スキャンニングにより目的の光を選択した後、周波数トラッキングを行うことにより、変化に追従して監視制御光波長に対応する RF 周波数を求めることができる。

【0126】

第 2 の実施形態においては、フィルタ 5 C を設けることにより、監視制御光が波長選択部 1 A で選択されても、波長選択モジュールの出力 (OUT) には出力されないので、監視制御光に対応する RF 周波数を求めるためにスキャンニングやトラッキングを行っても、波長選択モジュールの出力 (OUT) には影響を及ぼさないので、監視制御光波長と RF 信号周波数との関係をトラッキングにより一定の間隔で更新し、RF 信号周波数と波長選択部 1 A の選択波長の関係を更新することで、常に RF 信号周波数と選択波長の関係を調整することができるので、新たな波長の光を選択する際に、正しい波長の選択を行うことができる。

【0127】

これにより、波長選択部が WDM 信号光を選択している場合は、トラッキングにより目的の信号光を選択し続けることができ、また、新たな波長の WDM 信号光を選択する際には、

監視制御光のトラッキングにより更新された、RF信号周波数と選択波長の関係により、新たな目的の信号光を選択することができる。

【0128】

外部よりRF信号を印加し、AOTFにより波長選択を行う場合、RF信号の周波数により選択波長が変化し、RF信号の強度により選択波長光強度が変化する。図10は、RF信号の信号強度と選択波長の強度との関係を示したものである。

【0129】

図10に示されるように、選択波長の強度は特定のRF信号強度で最大となる。目的の光波長に対応するRF周波数において、RF信号の強度を変化させ、モニタされた選択光強度が最大となるRF信号の強度を探索することをパワートラッキングという。

【0130】

WDM信号光を波長選択部1Aで選択する際には、周波数トラッキングおよびパワートラッキングを行うことにより、目的の光波長に対応し、光出力が最大となるようなRF信号の周波数および強度に制御される。

【0131】

第2の実施形態においては、フィルタ5Cを設けることにより、監視制御光が波長選択部1Aで選択されても、波長選択モジュールの出力(OUT)には出力されない構成である。ここで、図10のRF信号強度と出力光強度の関係を利用することにより、フィルタ5Cの監視制御光波長に対するフィルタ特性を緩くすることができる。

【0132】

すなわち、モニタ部4Aは監視制御光の強度をモニタしており、監視制御光に含まれる信号をモニタする必要はないので、波長選択部1Aによる監視制御光の強度は、WDM信号光を選択する場合ほど強くなくてもよい。図10に示されるように、RF信号の強度RF信号の強度を弱くすることにより、波長選択部1Aより出力される光の強度は弱くなる。監視制御光波長に対応するRF信号の強度を落とし、モニタ部4Aが監視制御光をモニタするのに十分な強度まで、波長選択部1Aによる監視制御光の出力を抑えることにより、フィルタ5Cに入力される監視制御光の強度は減少するから、波長選択モジュールの出力に監視制御光が出力されないために、フィルタ5Cに要求される監視制御光波長に対するフィルタ特性は緩くなるので、WDM信号光に対するフィルタ挿入損失を抑えることができる。

【0133】

このように、本発明の第2の実施形態によれば、監視制御光と目的の波長の光を選択し、監視制御光をスキャニングおよびトラッキングにより連続的に選択して、波長選択部の温度変化によるRF信号周波数と選択波長との関係を補正する一方、目的の波長の光を任意に切り替えることができる波長選択モジュールが構成される。

【0134】

〔c〕第3の実施形態

次に、図6に本発明の第3の実施形態による波長選択モジュールを示す。第3の実施形態による波長選択モジュールは、複数波長を選択可能な波長選択部1Aと、制御部(CTRL)3A、RF信号発生部(RF OSC)2A～2B、混合部(Mixer)7A、モニタ部(MON)4Aおよび4B、基準光発生部(REF)6A、光アッテネータ(ATT)12A、カプラ9Aおよび9B、波長分離フィルタ8Aにより構成される波長選択モジュールである。波長選択部1A、RF信号発生部2A～2B、混合部7A、カプラ9A、モニタ部4A、波長分離フィルタ8、光フィルタ5A～5Bの構成および動作は第1の実施形態と同様である。

【0135】

基準光発生部6Aより出力される基準光は、波長選択部1Aの選択波長が温度により変化する現象を補正するのに用いられる。基準光発生部は、出力光の波長が一定となる機構を内部に持つので、波長選択部の温度が変化し、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係が変動した場合でも、RF信号の周波数を変化させ、波長選択部が基準光波長を選択するRF信号の周波数を求めることにより、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係を求め、補正をすることができる。基準光発生部6Aの出力は、ATT12Aにより光強度

の調整をされ、カプラ 9 A により波長選択モジュールの入力光と合波され、波長選択部 1 A の入力ポートに入力する。

【0136】

モニタ部 4 A は、カプラ 9 A により分波された光を入力し、その強度をデジタル信号として制御部 3 A に出力する。モニタ部 4 A の構成は、第 1 の実施形態におけるモニタ部と同様であり、ダイナミックレンジの広い電流－電圧変換用 Log アンプにより得られる、入力光強度と関連付けられたデジタル信号を、制御部 3 A に出力する。

【0137】

第 3 の実施形態では、波長選択部 1 A の入力ポートには、波長選択モジュールの入力光と基準光が合波された光が入力されるので、モニタ部 4 A には、波長選択モジュールの入力光と基準光が合波された光のうち、波長選択部 1 A に印加された RF 信号周波数に対応する波長の光が入力される。

【0138】

制御部 3 A は、モニタ部 4 A から出力されるデジタル信号を入力し、RF 信号発生部 2 A および 2 B から発生する周波数・振幅・位相を規定する制御信号を出力する。制御部 3 A は、第 1 の実施形態と同様、図 16 (b) に示される構成となっている。

【0139】

(基準光発生部の構成)

基準光発生部 6 A は、図 17 に示されるように、波長固定機能を有する LD (Laser Diode) 部 4 2 A と、その制御回路により構成される。LD 部 4 2 A の内部では、LD 3 5 A の出力光を受光する PD (Photo Diode) 3 6 A と、LD 3 5 A の出力光をフィルタ 3 7 A によりフィルタした光を受光する PD 3 6 B が、LD 3 5 A の光出力をモニタする。PD 3 6 A および 3 6 B の出力電流は、それぞれ PD モニタ回路 (PD MON) 3 4 A および 3 4 B により電圧に変換され、それぞれ AD 変換器 (ADC) 3 1 B および 3 1 C によりデジタル信号へと変換され、制御部 3 B へと入力される。

【0140】

また、LD 部 4 2 A の温度は、サーミスタ 3 8 A を通じて温度制御部 (TEMP CTRL) 4 1 A によりモニタされており、温度制御部 4 1 A は、温度制御回路ドライバ (TEC DRV) 4 0 A を通じて温度制御回路 3 9 A (TEC) により、LD 部 4 2 A の温度を制御する。温度制御部のモニタする LD 部 4 2 A の温度情報は、AD 変換器 3 1 A によりデジタル信号へと変換され、制御部 3 A へと入力される。

【0141】

制御部 3 B は、AD 変換器 3 1 B および 3 1 C を通じて得られる、LD 部 4 2 A 内の PD 3 6 A および 3 6 B の出力電流の情報から、DA 変換器 3 2 A を通じて温度制御部 4 1 A を制御し、LD 部 4 2 A の温度を変化させ、LD 3 5 A の出力光の波長が一定となるように制御する。また、制御部 3 B は、LD ドライバ (LD DRV) 3 3 A を、DA 変換器 3 2 B を通じて制御することにより、LD 3 5 A に流す電流を変化させ、LD 部 4 2 A の出力光強度を変化させることもできる。

【0142】

なお、図 17 に示される基準光発生部を外部機器と組み合わせて使用する場合、例えば図 5 においては、図 17 の制御部 3 B は、図 5 の制御部 3 A と別であってもよいし、図 5 の制御部 3 A が、図 17 の制御部 3 B を兼用してもよい。

(第 3 の実施形態の動作説明)

次に、本発明の第 3 の実施形態による波長選択モジュールの動作について説明する。

【0143】

図 6 に示される、本発明の第 3 の実施形態による波長選択モジュールは、第 1 の実施形態による波長選択モジュールの波長選択部入力に基準光を合波する構成を加えたものである。

【0144】

第 2 の実施形態と同様に、第 3 の実施形態においては、フィルタ 5 C および 5 D を設け

ることにより、基準光を選択するように波長選択部 1 A に印加する RF 信号を変化させる動作を、WDM 信号光を選択する動作に影響を与えずに行うことができるので、RF 信号と選択波長の関係を補正する動作を WDM 信号光の選択動作と独立に行うことができる。

【0145】

図 6 において、基準光発生部 6 A から出力される基準光と、波長選択モジュールの入力光がカプラ 9 A により合波され、波長選択部 1 A の入力ポートに入力される。波長選択部 1 A は、入力光のうち、混合部 7 A より印加された RF 信号の周波数に対応した波長の光を選択し、カプラ 9 A に出力する。

【0146】

第 3 の実施形態においては、波長選択部の温度が変動し、RF 信号周波数と選択波長との関係が変化した場合、基準光発生部 6 A の出力する基準光をモニタ部 4 A で検出することにより、RF 信号周波数と選択波長との関係を補正することができる。

【0147】

図 4 は、モニタ部 4 A に入力されるスペクトル強度を、波長に対して示したものである。第 3 の実施形態において、基準光発生部 6 A の出力する基準光の波長を λ_{ref1} とし、基準光の波長 λ_{ref1} は信号光の最長波長よりも長いものとする。また、信号光の強度よりも小さく、信号光のサイドローブ強度よりも大きい強度で、基準光がモニタ部 4 A に観測されるように、基準光発生部 6 A および ATT 1 2 A を設定する。

【0148】

図 4 グラフ横軸下の軸に示されるように、波長選択部 1 A に印加する RF 周波数を増加させることにより波長選択部 1 A の選択波長は減少するので、RF 信号発生部 2 A の出力を変化させてモニタ部 4 A の出力を観測することにより、図 4 に示されるスペクトルを得ることができる。

【0149】

図 4 において、 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ は波長選択部 1 A により選択された信号光、 λ_{1SL} は波長 λ_1 の信号光の短波長側サイドローブ、 λ_{ref1} は基準光がモニタ部 4 A により検出される場合のピーク位置をそれぞれ示す。また、右側の縦軸目盛り数字は波長選択モジュール出力 (OUT) に出力される光の強度を、中央の目盛り数字はカプラ 9 A またはカプラ 9 B により分岐され、モニタ部 4 A またはモニタ部 4 B の PD 5 5 A (図 1 6 (a)) に入射した光による電流値を、左側の目盛り数字は電流-電圧変換用 Log アンプ 5 6 A (図 1 6 (a)) の出力電圧を示す。Log アンプ 5 6 A を用いることにより、強い光から微弱な光までの広い強度範囲の光を AD 変換器 3 1 A の入力範囲に変換し、制御部 3 A に伝えることができる。

【0150】

以下に、図 3 (c) および図 4 を参照しながら、RF 信号周波数と選択波長との関係を補正する方法について説明する。

【0151】

第 3 の実施形態において、第 1 の実施形態と同様、波長選択部 1 A に印加する RF 信号を 1 つの周波数のみとする。図 3 (c) は、波長選択部 1 A の選択波長を長波長側から短波長側に減少させるときの、WDM 信号光と選択波長との関係を、横軸に波長、縦軸に光の強度をとり、模式的に表したものである。RF 信号発生部 2 A より出力する RF 信号の周波数を 170 MHz から 1 kHz ステップで増加させると、RF 信号の周波数の増加により、波長選択部 1 A の選択波長は減少するので、図 3 (a) 点線で示されるように波長選択部 1 A の選択波長は長波長側から短波長側へと変化する。

【0152】

上述したように、基準光は、信号光の強度よりも小さく、信号光のサイドローブ強度よりも大きい強度でモニタ部 4 A に観測され、図 4 の λ_{ref1} に示されるスペクトルとなるので、制御部 3 A により基準光のサイドローブが信号光と判別されることはない。また、基準光のサイドローブは信号光のサイドローブの強度よりも小さいので、基準光が信号光のサイドローブと判別されることもない。

【0153】

基準光の波長 λ_{refl} は WDM 信号光の最長波長よりも長いので、RF 信号の周波数を増加させ、波長選択部の選択波長を短波長側へと変化させることにより、波長選択部基準光が最初にモニタされる。モニタ部 4 A にモニタされた基準光の強度が最大となった時に、波長選択部 1 A に印加している RF 信号の周波数を、基準光の波長 λ_{refl} に対応する RF 周波数 f_{refl} として記録する。

【0154】

第 1 の実施形態において説明したように、RF 信号周波数に対する光波長の変化率をあらかじめ記憶しておけば、ある光波長に対応する RF 信号周波数を得ることにより、任意の波長の光に対応する RF 信号周波数を得ることができる。第 3 の実施形態においては、WDM 信号光の各チャンネルの周波数を監視制御信号等から得ることができるので、基準光を選択したときの RF 信号周波数を検出することにより、WDM 信号光の各チャンネルの光波長に対応する RF 信号周波数を求めることができる。

【0155】

したがって、波長選択部の温度変化による RF 信号周波数と選択波長の関係が変化しても、基準光を利用することにより、RF 周波数と選択波長関係の変化を補正することができる。

【0156】

なお、上記の説明では、基準光の波長 λ_{refl} を信号光の最長波長よりも長いものとし、波長選択部 1 A の選択波長を長波長側から短波長側へと変化させることによりモニタ部 4 A は基準光を検出したが、逆に、基準光の波長 λ_{refl} を信号光の最短波長よりも短いものとし、波長選択部 1 A の選択波長を短波長側から長波長側へと変化させることによりモニタ部 4 A が基準光を検出しても、同様の方法により、RF 周波数と選択波長関係の変化を補正することができる。

【0157】

このように、本発明の第 3 の実施形態によれば、入力光に基準光を合波することにより、1 つの波長選択部を用いて、波長多重されていない 2 波長の光を選択し、出力できると同時に、波長選択部の温度変化による RF 信号周波数と選択波長との関係を補正する波長選択モジュールを簡易に構成することができる。

【0158】

〔d〕第 4 の実施形態

図 7 に本発明の第 4 の実施形態による波長選択モジュールを示す。第 4 の実施形態による波長選択モジュールは、複数波長を選択可能な波長選択部 1 A と、基準光発生部 (REF) 6 A、光アッテネータ (ATT) 12 A、制御部 (CTRL) 3 A、RF 信号発生部 (RF OSC) 2 A ~ 2 B、混合部 (Mixer) 7 A、モニタ部 (MON) 4 A ~ 4 B、光フィルタ 5 C ~ 5 D、カプラ 9 A ~ 9 C により構成される波長選択モジュールである。波長選択部 1 A、RF 信号発生部 2 A ~ 2 B、混合部 7 A、カプラ 9 A ~ 9 B の動作は、第 2 の実施形態と同様である。また、基準光発生部 6 A、光アッテネータ 12 A の構成及び動作は、第 3 の実施形態と同様である。

【0159】

図 7 に示される、本発明の第 2 の実施形態による波長選択モジュールは、波長選択部 1 A である AOTF に印加される RF 信号の周波数と AOTF 選択波長の関係の補正を、基準光発生部 6 A より出力される基準光を用いて行う波長選択モジュールである。

【0160】

光フィルタ 5 C は基準光の波長を減衰させるフィルタであり、カプラ 9 A で分岐された光のうち、カプラ 9 B を通じて出力される波長選択モジュールの出力に基準光が含まれないように、基準光波長を阻止し、他の波長の光を透過する。

【0161】

一方、光フィルタ 5 D は、カプラ 9 A より分岐された光より、基準光波長の光を選択的に透過するフィルタであり、フィルタ後の光はモニタ 4 A に入力される。基準光の波長を選択的に透過するとは、波長選択部 1 A より出力される光のうち、基準光の波長のみが透

過されるということであり、例えば、波長多重された信号光の波長よりも基準光の波長が短い場合はローパスフィルタを用いることができるし、波長多重された信号光の波長の間に基準光がある場合は、バンドパスフィルタを用いることができる。

【0162】

第4の実施形態では、印加されたRF信号周波数に対応する波長の光が波長選択部1Aよりカプラ9Aに出力されるので、カプラ9Bおよび波長選択モジュールの出力には、波長選択部1Aの選択光のうち、基準光波長以外の光が出力される。また、モニタ4Aには、基準光波長に対応する周波数のRF信号が波長選択部1Aに印加されたときは、基準光が入力される。

【0163】

第2の実施形態と同様に、フィルタ5Cおよび5Dを設けることにより、基準光を選択するように、波長選択部1Aに印加するRF信号を変化させる動作を、WDM信号光を選択する動作に影響を与えずに行うことができるので、RF信号と選択波長の関係を補正する動作を、WDM信号光の選択動作とは独立に行うことができる。

【0164】

〔e〕第5の実施形態

次に、図8に本発明の第5の実施形態による波長選択モジュールを示す。第5の実施形態による波長選択モジュールは、波長選択部1Aと、制御部（CTRL）3A、RF信号発生部（RF OSC）2A～2B、混合部（Mixer）7A、モニタ部（MON）4A～4B、分波手段として波長分離フィルタ8A、カプラ9C～9E、光フィルタ5A～5B、基準光発生部（REF）6A～6B、光アッテネータ（ATT）12A～12Bにより構成される波長選択モジュールである。波長選択部1A、RF信号発生部2A～2B、混合部7A、波長分離フィルタ8A、光フィルタ5A～5Bの構成および動作は第1の実施形態と同様である。

【0165】

基準光発生部6Aおよび6Bより出力される第1および第2の基準光は、波長選択部1Aの選択波長が温度により変化する現象を補正するのに用いられる。基準光発生部は、出力光の波長が一定となる機構を内部に持つので、波長選択部の温度が変化し、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係が変動した場合でも、RF信号の周波数を変化させ、波長選択部が基準光波長を選択するRF信号の周波数を求めることにより、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係を求め、補正をすることができる。

【0166】

第5の実施形態においては、基準光発生部6Aおよび6Bにより出力された第1および第2の基準光を、波長選択モジュールの入力光と合波して、波長選択部1Aに入力し、モニタ4Aおよび4Bでそれぞれ独立に基準光とRF信号周波数の関係の補正をするので、RF信号周波数と選択波長の関係を正確に求めることができ、波長選択部1Aの選択波長が温度により変化する現象の補正を、より正確にすることができる。

【0167】

基準光発生部6Aおよび6Bより出力された第1および第2の基準光は、それぞれATT12Aおよび12Bにより光強度の調整をされ、カプラ9Cにより波長選択モジュールの入力光と合波され、波長選択部1Aに入力する。

【0168】

第1の実施例と同様に、波長分離フィルタ8Aは、カプラ9Aからの出力を、光フィルタ5Aおよび光フィルタ5Bに分離するフィルタである。第5の実施形態による波長分離フィルタ8Aは、カプラ9Aより出力された光のうちCバンドの波長領域にある光を光フィルタ5Aに、Lバンドの波長領域にある光を光フィルタ5Bに分波し出力する。

【0169】

光フィルタ5AはCバンド領域の光のみを透過する光フィルタであり、波長分離フィルタ8Aにより分波された光のCバンド領域以外の光を減衰させるので、波長選択部1Aにより選択されたCバンドの光のみが光フィルタの出力（OUT）ポート1に出力される。

【0170】

同様に、光フィルタ 5 B は L バンド領域の光のみを透過する光フィルタであり、波長分離フィルタ 8 A により分波された光の L バンド領域以外の光を減衰させるので、波長選択部 1 A により選択された L バンドの光のみが光フィルタの出力 (OUT) ポート 2 に出力される。

【0171】

モニタ部 4 A および 4 B は、それぞれカプラ 9 D および 9 E により分岐された、光フィルタ 5 A および 5 B の出力光を入力し、その強度をデジタル信号として制御部 3 A に出力する。モニタ部 4 A および 4 B の構成は、第 1 の実施形態におけるモニタ部と同様であり、ダイナミックレンジの広い電流-電圧変換用 Log アンプにより得られる、入力光強度と関連付けられたデジタル信号を、制御部 3 A に出力する。

【0172】

制御部 3 A は、モニタ部 4 A および 4 B から出力されるデジタル信号を入力し、RF 信号発生部 2 A および 2 B から発生する周波数・振幅・位相を規定する制御信号を出力する。制御部 3 A は、第 1 の実施形態と同様、図 16 (b) に示される構成となっている。

【0173】

(第 5 の実施形態の動作説明)

次に、本発明の第 5 の実施形態による波長選択モジュールの動作について説明する。

【0174】

図 8 に示される本発明の第 5 の実施形態による波長選択モジュールにおいて、入力した WDM 信号光は、基準光発生部 6 A および 6 B により出力された第 1 および第 2 の基準光と合波され、波長選択部 1 A に入力する。

【0175】

RF 信号発生部 2 A および 2 B により出力される RF 信号の周波数をそれぞれ f_1 および f_2 、波長選択部 1 A に周波数 f_1 および f_2 の RF 信号が入力された場合にモード変換され、分岐 (DROP) ポートより出力する光の波長をそれぞれ λ_1 、 λ_2 とする。

【0176】

第 1 の実施形態と同様に、 λ_1 を C バンドの波長帯域に、 λ_2 を L バンドの波長帯域にあるように、 f_1 および f_2 を定めると、波長分離フィルタ 8 A は、C バンドの波長領域にある光を光フィルタ 5 A に、L バンドの波長領域にある光を光フィルタ 5 B に出力するカプラであるので、波長 λ_1 の光は光フィルタ 5 A に出力され、波長 λ_2 の光は光フィルタ 5 B に出力される。

【0177】

光フィルタ 5 A は C バンド領域の光のみを、光フィルタ 5 B は L バンド領域の光のみを透過する光フィルタであるので、波長 λ_1 の光は光フィルタ 5 A を通じて出力 (OUT) ポート 1 およびモニタ部 4 A に出力され、波長 λ_2 の光は光フィルタ 5 B を通じて出力 (OUT) ポート 2 およびモニタ部 4 B に出力される。

【0178】

したがって、モニタ部 4 A は波長選択部 1 A により選択された光のうち C バンドの波長帯域にある波長 λ_1 の光の強度を、モニタ部 4 A は波長選択部 1 A により選択された光のうち L バンドの波長帯域にある波長 λ_2 の光の強度をそれぞれデジタル信号として制御部 3 A に出力する。

【0179】

これにより、第 5 の実施形態では、制御部 3 A は、モニタ部 4 A および 4 B の情報から、波長 λ_1 の光の強度と波長 λ_2 の光の強度情報を独立かつ同時に得る。

【0180】

以下に、図 3 (d) を参照しながら、RF 信号周波数と選択波長との関係を補正する方法について説明する。

【0181】

第 5 の実施形態において、基準光発生部 6 A および 6 B の出力する基準光を、それぞれ基準光 1 および基準光 2 とし、基準光 1 および基準光 2 の波長を、それぞれ λ_{ref1} および

$\lambda_{\text{ref}2}$ とする。また、基準光 1 の波長 $\lambda_{\text{ref}1}$ を、信号光の最短波長よりも短く、かつ、光フィルタ 5 A を透過する波長とし、基準光 2 の波長 $\lambda_{\text{ref}2}$ を、信号光の最長波長よりも長く、かつ、光フィルタ 5 B を透過する波長とする。

【0182】

また、第 3 の実施形態と同様に、基準光 1 および基準光 2 が、信号光の強度よりも小さく、信号光のサイドローブ強度よりも大きい強度で、それぞれモニタ部 4 A およびモニタ部 4 B に観測されるように、それぞれ基準光発生部 6 A と ATT 1 2 A および基準光発生部 6 B と ATT 1 2 B を設定する。

【0183】

図 3 (d) は、波長選択部 1 A の選択波長を、1 波は長波長側から短波長側に減少させ、1 波は短波長側から長波長側に増加させるときの、WDM 信号光と選択波長との関係を、横軸に波長、縦軸に光の強度をとり、模式的に表したものである。RF 信号発生部 2 A の出力信号周波数 f_1 を高周波数側から低周波数側へと変化させ、波長選択部 1 A の選択波長 λ_1 を短波長側から長波長側へと変化させることにより、モニタ部 4 A は基準光 1 を検出する。同様に、RF 信号発生部 2 B の出力信号周波数 f_2 を低周波数側から高周波数側へと変化させ、波長選択部 1 A の選択波長 λ_2 を長波長側から短波長側へと変化させることにより、モニタ部 4 B は基準光 2 を検出する。

【0184】

第 5 の実施形態においては、波長選択部 1 A の出力のうち、C バンドの波長領域にある光と、L バンドの波長領域にある光は、それぞれモニタ部 4 A およびモニタ部 4 B により、独立かつ同時にモニタでき、RF 信号発生部 2 A および 2 B の出力する RF 信号の周波数も、それぞれ独立に変化・出力することができるから、モニタ部 4 A および 4 B により、 $\lambda_{\text{ref}1} = \lambda_1$ となる RF 信号周波数 $f_{\text{ref}1}$ および $\lambda_{\text{ref}2} = \lambda_2$ となる RF 信号周波数 $f_{\text{ref}2}$ を、独立かつ同時に探索することができる。

【0185】

これにより、波長選択部 1 A が $\lambda_{\text{ref}1}$ を選択するときの RF 信号の周波数 $f_{\text{ref}1}$ と、 $\lambda_{\text{ref}2}$ を選択するときの RF 信号の周波数 $f_{\text{ref}2}$ が得られるので、RF 信号周波数に対する光波長の変化率を求めることができ、あらかじめ変化率を記憶しておかなくても、目的の光波長に対応する RF 信号周波数を得ることができる。

【0186】

第 3 の実施形態と同様に、WDM 信号光の各チャンネルの周波数は、監視制御信号等から得ることができるので、第 5 の実施形態においても、WDM 信号光の各チャンネルの光波長に対応する RF 信号周波数を求めることができる。

【0187】

第 5 の実施形態においては、RF 信号周波数に対する光波長の変化率を直接求めることができるので、RF 信号周波数に対する光波長の変化率を用いる必要がない。これにより、あらかじめ記憶された変化率が実際の変化率との乖離していることによる、算出される RF 信号周波数のずれ、および選択波長のずれを、トラッキング等の別手段により補正する必要がないという利点を有する。

【0188】

さらに、基準光 1 および基準光 2 の波長探索は、それぞれモニタ部 4 A および 4 B により、独立かつ同時に行われるので、基準光の波長探索を 2 波について行うにも関わらず、探索時間は 1 波の場合と同程度に収めることができる。

【0189】

このように、本発明の第 5 の実施形態によれば、入力光に基準光 2 波を合波するとともに、波長帯域ごとに分波された出力をモニタすることで、1 つの波長選択部を用いて、波長多重されていない 2 波長の光を選択し、出力できると同時に、波長選択部の温度変化による RF 信号周波数と選択波長との関係を、基準光 2 波を用いてより正確に補正できる、波長選択モジュールを簡易に構成することができる。

【0190】

〔f〕第6の実施形態

次に、図9に本発明の第6の実施形態による波長選択モジュールを示す。第6の実施形態による波長選択モジュールは、波長選択部1A～1Dと、制御部(CTRL)3A、RF信号発生部(RF OSC)2A～2F、混合部(Mixer)7A、モニタ部(MON)4A～4F、カプラ9A～9G、光フィルタ5A～5B、基準光発生部(REF)6A～6B、光アッテネータ(ATT)12A～12Bにより構成される波長選択モジュールである。

【0191】

図9の波長選択部1A～1Dは、同一の環境下にある波長選択部であり、例えば、集積型AOTFアレイを用いることができる。

【0192】

第5の実施形態と同様に、基準光発生部6Aおよび6Bより出力される第1および第2の基準光は、波長選択部1Dの選択波長が温度により変化する現象を補正するのに用いられる。基準光発生部は、出力光の波長が一定となる機構を内部に持つので、波長選択部の温度が変化し、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係が変動した場合でも、RF信号の周波数を変化させ、波長選択部が基準光波長を選択するRF信号の周波数を求めることにより、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係を求め、補正をすることができる。

【0193】

第6の実施形態においては、基準光発生部6Aおよび6Bにより出力された第1および第2の基準光を、カプラ9Gにより波長選択モジュールの入力光と合波した後、カプラ9Aで分波し、波長選択部1Dに入力し、モニタ4Aおよび4Bでそれぞれ独立に基準光とRF信号周波数の関係の補正をするので、RF信号周波数と選択波長の関係を正確に求めることができ、波長選択部1Aの選択波長が温度により変化する現象の補正を、より正確にすることができる。

【0194】

基準光発生部6Aおよび6Bより出力された第1および第2の基準光は、それぞれATT12Aおよび12Bにより光強度の調整をされ、カプラ9Gにより波長選択モジュールの入力光と合波され、カプラ9Aで分波され、波長選択部1A～1Dに入力する。

【0195】

波長選択部1A～1Cは、それぞれRF信号発生部(RF OSC)2D～2Fより出力されるRF信号周波数に応じた波長の光を選択し、それぞれ波長選択モジュールの出力(OUT1～OUT3)として出力する。波長選択部1A～1Cの出力は、それぞれカプラ9B～9Dで分岐され、モニタ部(MON)4A～4Cによりモニタされる。

【0196】

一方、波長選択部1Dが目的波長の信号光と第1および第2の基準光を選択するように、混合部7Aを通じてRF信号を印加することにより、第4の実施形態と同様に、RF信号周波数と波長選択部の選択波長との関係を求め、補正をすることができる。

【0197】

光フィルタ5Eは第1および第2の基準光の波長を減衰させるフィルタであり、カプラ9Fで分岐された光のうち、カプラ9Eを通じて出力される波長選択モジュールの出力(OUT4)に第1および第2の基準光が含まれないように、第1および第2の基準光波長を阻止し、他の波長の光を透過する。

【0198】

一方、光フィルタ5Gおよび5Hは、カプラ9Fより分岐された光より、それぞれ第1および第2の基準光波長の光を選択的に透過するフィルタであり、フィルタ後の光はそれぞれモニタ部4Bおよび4Aに入力される。

【0199】

これにより、波長選択部1Dが目的波長の信号光と第1および第2の基準光を選択するように、混合部7Aを通じてRF信号を印加した場合、カプラ9Fで分岐された出力光のうち、目的波長の信号光はOUT4へ、第1および第2の基準光はそれぞれモニタ部4Bおよび

び 4 A に出力される。

【0200】

第 6 の実施形態において、第 2 および第 4 の実施形態と同様に、波長選択部 1 D および制御部 3 A は、第 1 および第 2 の基準光をスキャニングおよびトラッキングにより連続的に選択して、波長選択部 1 D の温度変化による RF 信号周波数と選択波長との関係を補正する一方、目的の波長の光を任意に切り替えることができる。

【0201】

また、波長選択部 1 A ～ 1 D は同一の環境下にあり、波長選択部の温度変化による RF 信号周波数と選択波長との関係にほとんど差がないと考えることができるので、波長選択部 1 D の RF 信号周波数と選択波長との関係を補正することにより、波長選択部 1 A ～ 1 D の RF 信号周波数と選択波長との関係が補正される。

【0202】

これにより、RF 信号周波数と選択波長との関係を補正する制御を 1 つの波長選択部に対しておこなうことにより、複数の波長選択部に対して補正を行うことができるので、コストを削減することができる。

【0203】

〔g〕第 7 の実施形態

次に、図 11 に本発明の第 7 の実施形態による OADM 装置を示す。第 7 の実施形態による OADM 装置は、光カプラ 9 A ～ 9 D、光増幅器 11 A ～ 11 I、波長選択モジュール 10 A ～ 10 D、トランスポンダ部 15 A ～ 15 B、光アッテネータ (ATT) 12 A ～ 12 H、B RF (帯域阻止光フィルタ; Band Rejection Filter) 16 A ～ 16 B により構成される。また、トランスポンダ部 15 A は、光受信器 13 A ～ 13 D および光送信器 14 A ～ 14 D により構成され、トランスポンダ部 15 B は、光受信器 13 E ～ 13 H および光送信器 14 E ～ 14 H により構成される。

【0204】

波長選択モジュール 10 A ～ 10 D は、波長選択部を使用した本発明による波長選択モジュールであり、C バンドおよび L バンドの波長帯域の光をそれぞれ 1 波ずつ選択して出力する。

【0205】

BRF 16 A および 16 B は波長選択部のリジェクション機能を用いたものであり、挿入 (ADD) ポートから入力された光のうち、印加された RF 信号の周波数に対応する光を、透過 (THRU) ポートに出力する。また、入力 (IN) ポートから入力された光のうち、印加された RF 信号の周波数に対応する光を、分岐 (DROP) ポートに出力し、透過 (THRU) ポートには出力しない。

【0206】

図 11 に示される OADM 装置において、入力された WDM 信号光から、C バンドの波長帯域にある波長 λ_{C1} 、 λ_{C2} 、 λ_{C3} 、 λ_{C4} の光と、L バンドの波長帯域にある波長 λ_{L1} 、 λ_{L2} 、 λ_{L3} 、 λ_{L4} の光を単一波長の光に分岐して出力し、また、挿入された光を波長 λ_{C5} 、 λ_{C6} 、 λ_{C7} 、 λ_{C8} の光と、波長 λ_{L5} 、 λ_{L6} 、 λ_{L7} 、 λ_{L8} の光として、WDM 信号光に挿入し、多重化して出力する場合について説明する。

【0207】

OADM 装置の入力ポートに入力された WDM 信号光はカプラ 9 A により分波され、BRF 16 A の入力 (IN) ポートと、光増幅器 11 A に入力する。光増幅器 11 A により増幅された光は、カプラ 9 B により分波され、光装置 10 A ～ 10 D に入力する。

【0208】

光装置 10 A ～ 10 D は、本発明による光装置であり、光装置 10 A は波長 λ_{C1} および λ_{L1} の光を OADM 装置の分岐光ポートに出力し、同様にして、光装置 10 B ～ 10 D は、それぞれ波長 $\lambda_{C2} \sim \lambda_{C4}$ および $\lambda_{L2} \sim \lambda_{L4}$ の光を OADM 装置の分岐光ポートに出力する。したがって、4 つの光装置 10 A ～ 10 D により、 $\lambda_{C1} \sim \lambda_{C4}$ と $\lambda_{L1} \sim \lambda_{L4}$ の 8 波を選択し、出力することができる。

【0209】

一方、OADM装置の挿入光ポート1に入力した光は、トランスポンダ部15Aにより信号光の波長を変え、波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ の光として出力する。出力された波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ の光は、光増幅器11B~11Eにより増幅され、ATT12A~12Dにより、それぞれ光強度の調整をされ、カプラ9Cにより合波され、BRF16Aの挿入(ADD)ポートに入力する。

【0210】

同様に、OADM装置の挿入光ポート2に入力した光は、トランスポンダ部15Bにより信号光の波長を変え、波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ の光として出力する。出力された波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ の光は、光増幅器11F~11Iにより増幅され、ATT12E~12Hにより、それぞれ光強度の調整をされ、カプラ9Dにより合波され、BRF16Bの挿入(ADD)ポートに入力する。

【0211】

BRF16Aの入力(IN)ポートには、カプラ9Aにより分波されたWDM信号光が入力され、BRF16Aの挿入(ADD)ポートにはカプラ9Cより波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ の光が入力される。挿入(ADD)ポートに入力された光を透過(THRU)ポートに出力するために、BRF16Aには波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ に対応する周波数のRF信号が印加されるが、これにより、入力(IN)ポートに入力されたWDM信号光のうち、波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ の光は分岐(DROP)ポートに出力されるので、波長 $\lambda_{c5} \sim \lambda_{c8}$ を除いた光が透過(THRU)ポートに出力される。

【0212】

同様に、BRF16Bの入力(IN)ポートには、BRF16Bの透過(THRU)ポートより出力されたWDM信号光が入力され、BRF16Bの挿入(ADD)ポートにはカプラ9Dより波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ の光が入力される。挿入(ADD)ポートに入力された光を透過(THRU)ポートに出力するために、BRF16Bには波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ に対応する周波数のRF信号が印加されるが、これにより、入力(IN)ポートに入力されたWDM信号光のうち、波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ の光は分岐(DROP)ポートに出力されるので、波長 $\lambda_{L5} \sim \lambda_{L8}$ を除いた光が透過(THRU)ポートに出力され、OADM装置の出力ポートに出力される。

【0213】

図12は図11の実施形態の変形例である。図12に示されるOADM装置において、図11と同一番号の付されている構成は同一部材であるため、その説明を省略する。

【0214】

基準光発生部6Aからの出力光は任意の光パワーに調整されるべく光アッテネータ12Cに入力される。光アッテネータ12Cで所定の光パワーに調整された光は光カプラ9Eに入力される。光カプラ9Eでは光カプラ9Aで分離されたWDM信号光と光アッテネータ12Cの光を合波して出力する。光カプラ9Eの出力は光増幅器11Aに入力され所定の光パワーに増幅される。光増幅器11Aの出力は光カプラ9Bに入力される。光カプラ9Bは入力した増幅されたWDM信号光と基準光発生部からの光を複数に分離し、光装置10A乃至10Dに入力する。

【0215】

このように構成することで、基準光源を個別の光装置10A乃至10Dに設ける必要がなくなり、構成を簡略化することができる。

【0216】

なお、本図では基準光発生部は一つであるが、図8に示すように複数の基準光を用いても良い。この際、複数の基準光発生部を用いれば複数の基準光を用いることができる。

【0217】

このように、本発明の第7の実施形態によれば、波長多重されていない2波長の光を選択し出力することができる、波長選択部を1つ用いた可変波長選択モジュールをOADM装置に使用することにより、使用する波長選択部の数を抑えながら、分岐・挿入する波長数を多くすることのできるOADM装置を構成することができる。

【0218】

第 1、第 3、第 5 の実施形態においては、C バンドの波長帯域にある光 1 波と、L バンドの波長帯域にある光 1 波を 1 つの波長選択部により選択し、カプラにより波長ごとに分波していたが、波長選択部の選択波長が別の波長帯域にあれば、カプラにより分波できるので、選択・出力することのできる波数は 2 波に制限されない。

【0 2 1 9】

例えば、3 つの RF 信号発生部による RF 信号出力を混合し、C バンド、L バンド、S バンドの光を波長選択部により選択し、カプラにより波長ごとに分波すれば、第 1～第 5 の実施形態と同様の構成により波長多重されていない 3 波長の光を選択し、出力することができる。

【0 2 2 0】

この 3 波長の光を選択・出力することのできる波長選択モジュールを、第 7 の実施形態と構成に使用すれば、C バンド、L バンド、S バンドの光を分岐・挿入する OADM 装置に使用する波長選択部の数を抑えることができる。

(h) 付記

本願は以下の付記記載の発明を包含する。

(付記 1)

複数の異なる波長の光が多重化された光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力光を波長ごとに分波し出力する分波手段を備えた波長選択モジュール。

(付記 2)

付記 1 記載の波長選択モジュールであって、

前記分波手段の出力光を入力し、不要の波長の光を減衰して出力する手段を備えた波長選択モジュール。

(付記 3)

入力した光の中から外部の制御信号により複数の波長を選択し出力する波長選択部と、前記波長選択部の出力光を複数の波長の光に分波する分波手段を備えた光フィルタと、前記フィルタに対しての基準光を発生する基準光源と、

入力光と前記基準光を合波し、前記波長選択手段に入力する合波手段を備えた波長選択モジュール。

(付記 4)

付記 3 記載の波長選択モジュールであって、

前記分波手段はモニタ出力を有し、

前記基準光源の波長の光が前記モニタ出力に出力されたときの前記波長選択部を制御するための制御信号と前記基準光源の波長に基づき前記波長選択部を制御するための制御信号を制御することを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 5)

付記 3 記載の波長選択モジュールであって、

前記基準光源は複数の波長の光を発生し、

前記分波手段で分離された複数の波長はそれぞれモニタ出力されており、

前記基準光源の波長の光が前記モニタ出力に出力されたときの前記波長選択部を制御するための制御信号と前記基準光源の波長に基づき前記波長選択部を制御するための制御信号を制御することを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 6)

複数の異なる波長の光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 および第 2 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し特定の波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記フィルタの透過波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 7)

出力波長が一定である基準光源と、

複数の異なる波長の光を含む入力光と前記基準光源の出力光を合波する合波手段と、

前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 および第 2 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し前記基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記基準光源の波長に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 8)

出力波長が一定である第 1 および第 2 の基準光源と、

複数の異なる波長の光を含む入力光と前記第 1 および第 2 の基準光源の出力光を合波する合波手段と、

前記合波手段の出力光を入力し外部より与えられた制御信号に応じた複数の波長の光を選択し出力する波長選択部と、

前記波長選択部の出力を第 1 ないし第 3 の光に分岐する分岐手段と、

前記第 2 の光を入力し前記第 1 の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 1 のフィルタと、

前記第 3 の光を入力し前記第 2 の基準光源の出力光波長の光を選択的に透過する第 2 のフィルタと、

前記制御信号と前記第 1 のフィルタの出力と前記第 1 の基準光源の波長の関係および前記制御信号と前記第 2 のフィルタの出力と前記第 2 の基準光源の波長の関係に基づき、前記波長選択部に与えられた制御信号と選択波長との関係を調整する制御部とを備えたことを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 9)

付記 6 ないし付記 8 記載の波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光を前記波長選択部で連続的に選択するように前記制御信号を制御することを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 10)

付記 6 ないし付記 8 記載の波長選択モジュールであって、前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光に対応する前記制御信号の出力を抑制することにより、前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長の前記第 1 の光への出力を抑制することを特徴とする波長選択モジュール。

(付記 11)

付記 6 ないし付記 8 記載の波長選択モジュールであって、

第 1 の光を入力し前記制御部は前記第 1 または第 2 のフィルタにより選択的に透過される光の波長を減衰する第 3 のフィルタを備えることを特徴とする波長選択モジュール。

【図面の簡単な説明】

【 0 2 2 1 】

【図 1】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 2】 本発明による波長選択モジュールの各部における光強度を示す図

【図 3】 本発明による波長選択モジュールに用いられる波長選択部の、選択波長と入力光の関係を示す図

【図 4】 基準光および信号光のスペクトルを示す図

【図 5】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 6】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 7】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 8】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 9】 本発明による波長選択モジュールを示す図

【図 1 0】 AOTF に印加される RF 信号強度と出力光強度の関係を示す図

【図 1 1】 本発明による光分岐挿入装置を示す図

【図 1 2】 本発明による光分岐挿入装置を示す図

【図 1 3】 RF 信号発生部の構成を示す図

【図 1 4】 DDS の構成を示す図

【図 1 5】 DDS の構成を示す図

【図 1 6】 モニタ部および制御部の構成を示す図

【図 1 7】 基準光発生部の構成を示す図

【図 1 8】 音響光学可変フィルタ (AOTF) の構成を示す図

【図 1 9】 従来技術による光分岐挿入装置を示す図

【図 2 0】 光バーストスイッチ方式を示す図

【符号の説明】

【 0 2 2 2 】

1 A 波長選択部

2 A ~ 2 B 高周波信号発生部 (RF OSC)

3 A ~ 3 B 制御部 (CTRL)

4 A ~ 4 B モニタ部 (MON)

5 A ~ 5 F 光フィルタ

6 A ~ 6 B 基準光発生部 (REF)

7 A 混合部 (Mix)

8 A 波長分離フィルタ

9 A ~ 9 G カプラ

1 0 A ~ 1 0 D 本発明による波長選択モジュール

1 1 A ~ 1 1 C 光増幅器、光増幅部

1 2 A ~ 1 2 C 光アッテネータ (ATT)、光アッテネータ部

1 3 A ~ 1 3 B 光受信部

1 4 A ~ 1 4 B 光送信部

1 5 A ~ 1 5 B トランスポンダ

1 6 A ~ 1 6 B BRF (帯域阻止フィルタ)

2 0 A ~ 2 0 D 従来技術による AOTF を用いた波長選択部

2 1 A IDT (櫛型電極)

2 2 A SAW 導波路

2 3 A ~ 2 3 B PBS (偏光ビームスプリッタ)

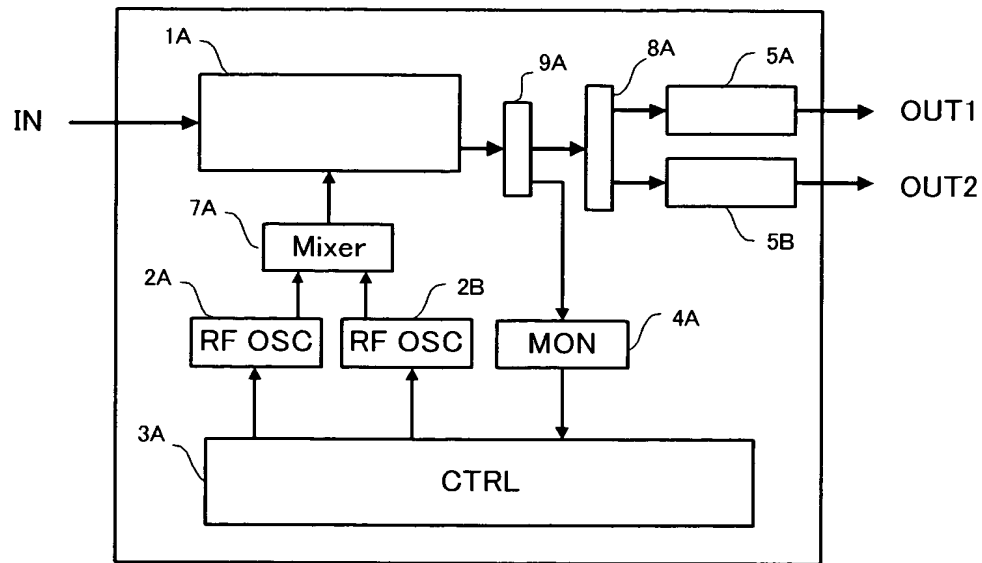
2 4 A ~ 2 4 F 光導波路

2 5 A 吸収体

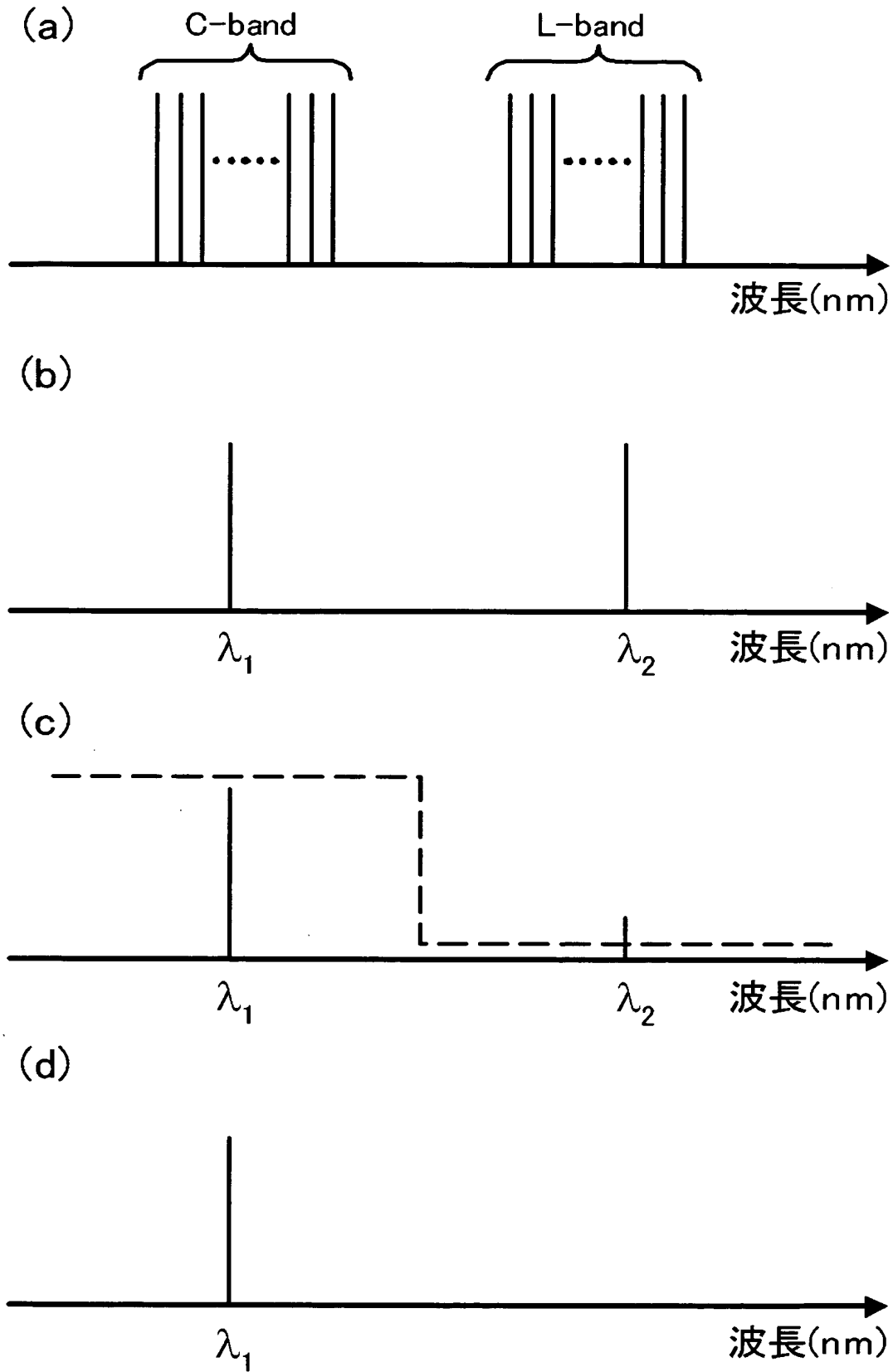
2 6 A 基板
2 7 A MPU部
2 8 A ROM部
2 9 A RAM部
3 0 A EEPROM部
3 1 A ~ 3 1 C AD変換器 (ADC)
3 2 A ~ 3 2 C DA変換器 (DAC)
3 3 A LD駆動部
3 4 A PDモニタ部
3 5 A レーザダイオード (LD)
3 6 A ~ 3 6 B フォトダイオード (PD)
3 7 A フィルタ
3 8 A サーミスタ
3 9 A 温度制御回路 (TEC)
4 0 A 温度制御回路ドライバ (TEC DRV)
4 1 A 温度制御部 (TEMP CTRL)
4 2 A 波長固定機能を有するLD部
5 1 A ~ 5 1 B DDS (Direct Digital Synthesizer)
5 2 A ~ 5 2 D 高周波用バンドパスフィルタ (BPF)
5 3 A ~ 5 3 D 高周波用増幅器 (RF AMP)
5 4 A 乗算器
5 5 A フォトダイオード (PD)
5 6 A 電流-電圧変換用Logアンプ
5 7 A 非反転増幅器
5 8 A 高周波用ローパスフィルタ (LPF)
6 1 A 位相演算器
6 2 A ~ 6 2 B 振幅コンバータ
6 3 A ~ 6 3 B DA変換器 (DAC)
6 4 A ~ 6 4 B レジスタ
6 5 A レファレンスクロック乗算器
6 6 A デジタル乗算器
7 0 光バーストスイッチングネットワーク
7 1 アクセスネットワーク
7 3 エッジノード
7 4 中継ノード
8 0 A ~ 8 0 B 制御パケット
8 1 A ~ 8 1 B バーストデータ

【書類名】 図面

【図 1】

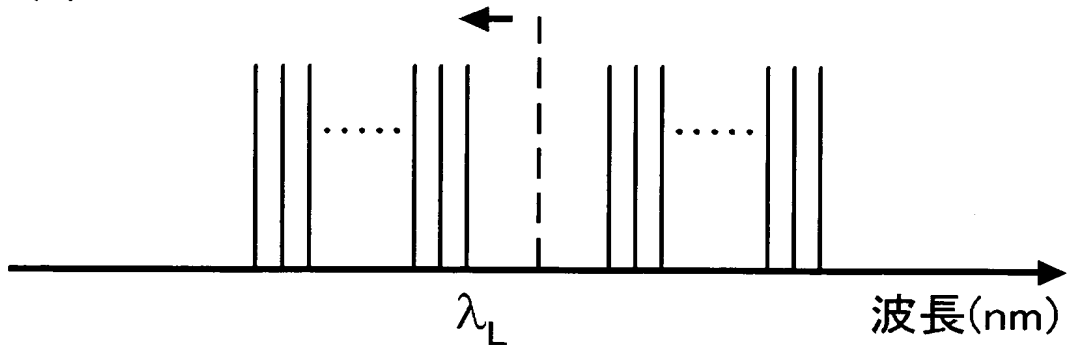


【図 2】

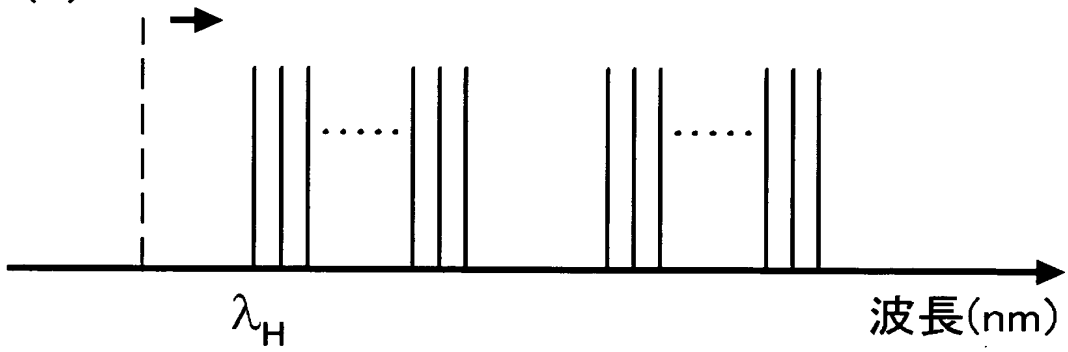


【図 3】

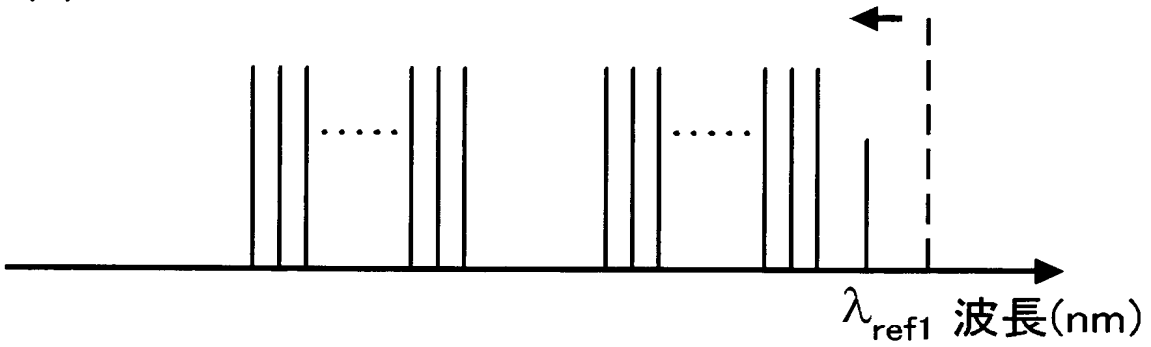
(a)



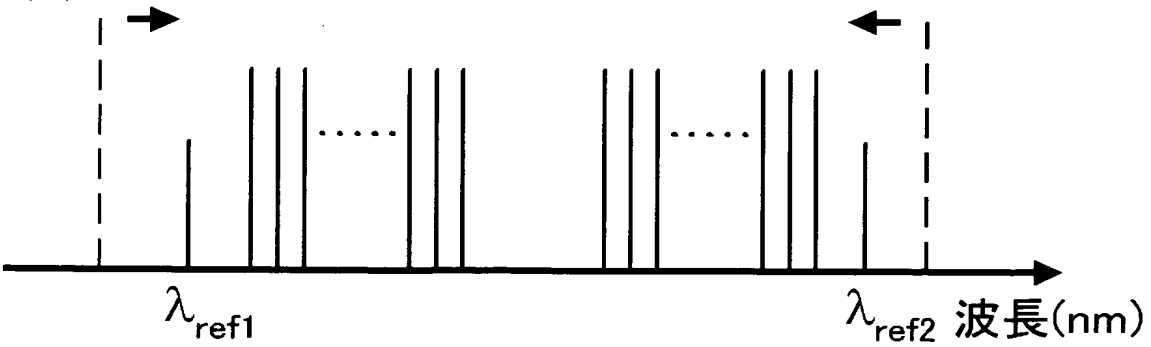
(b)



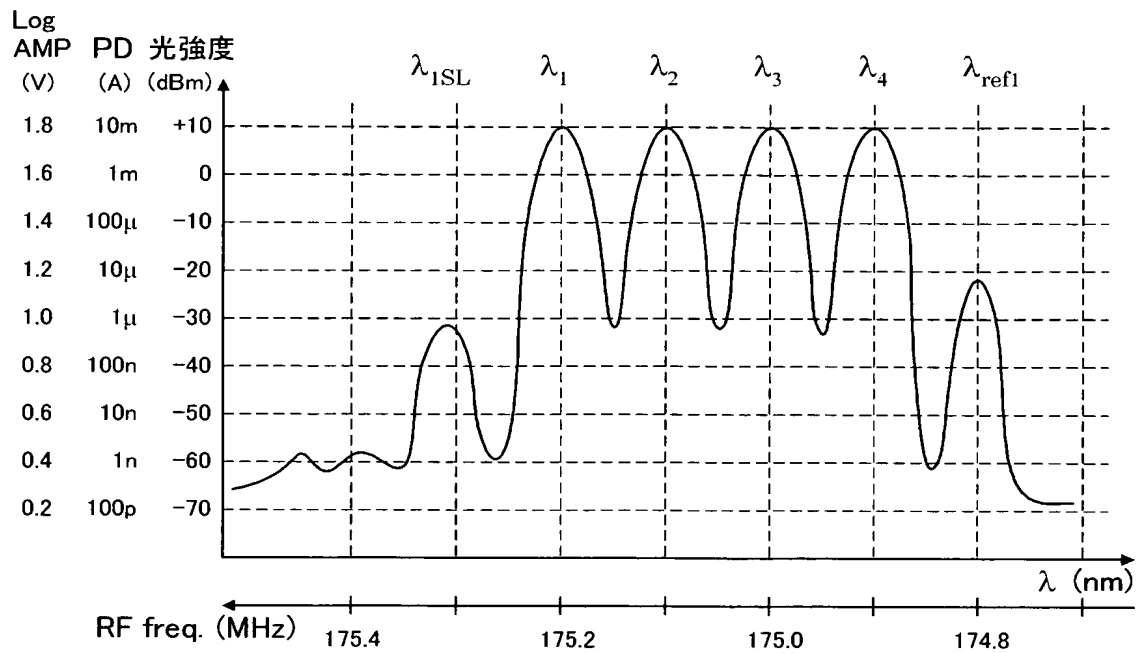
(c)



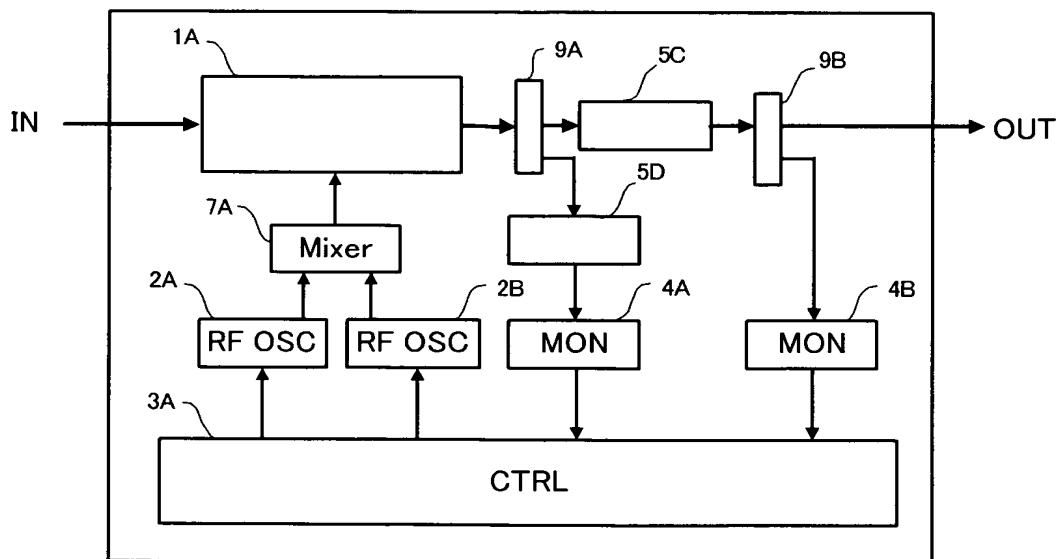
(d)



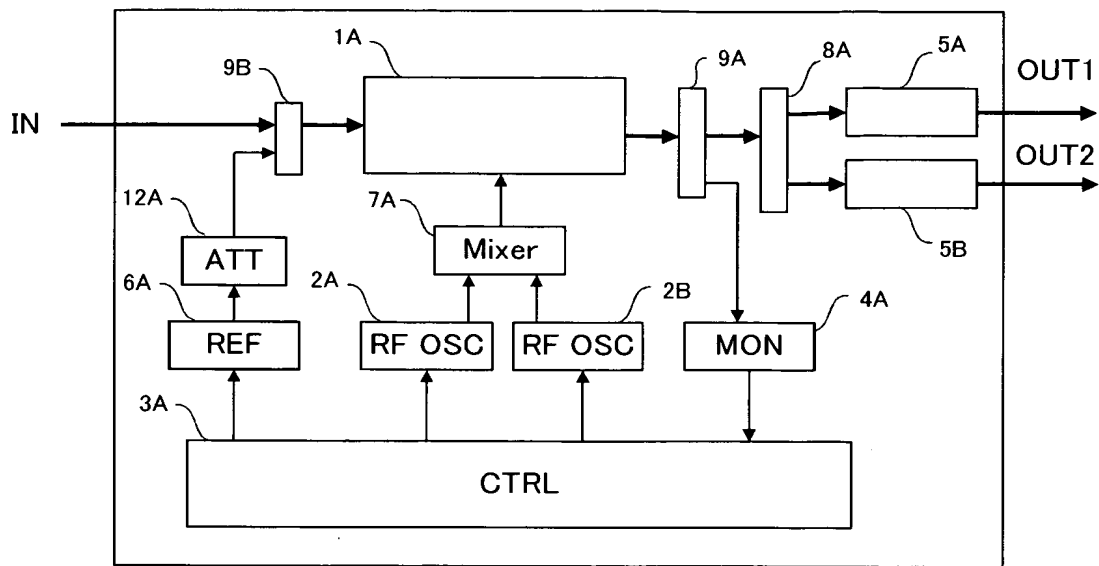
【図 4】



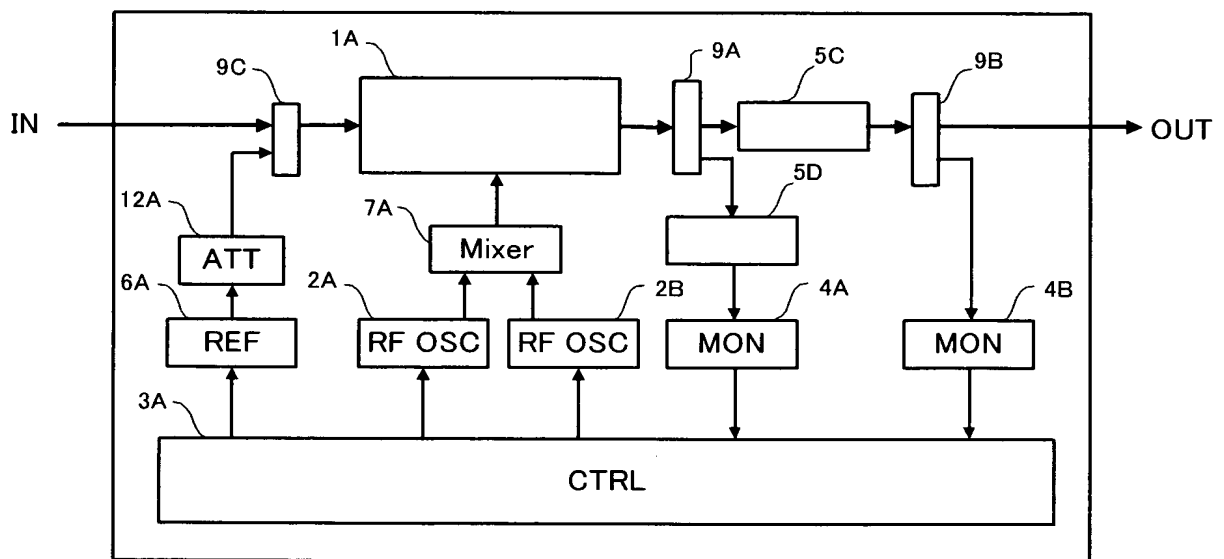
【図 5】



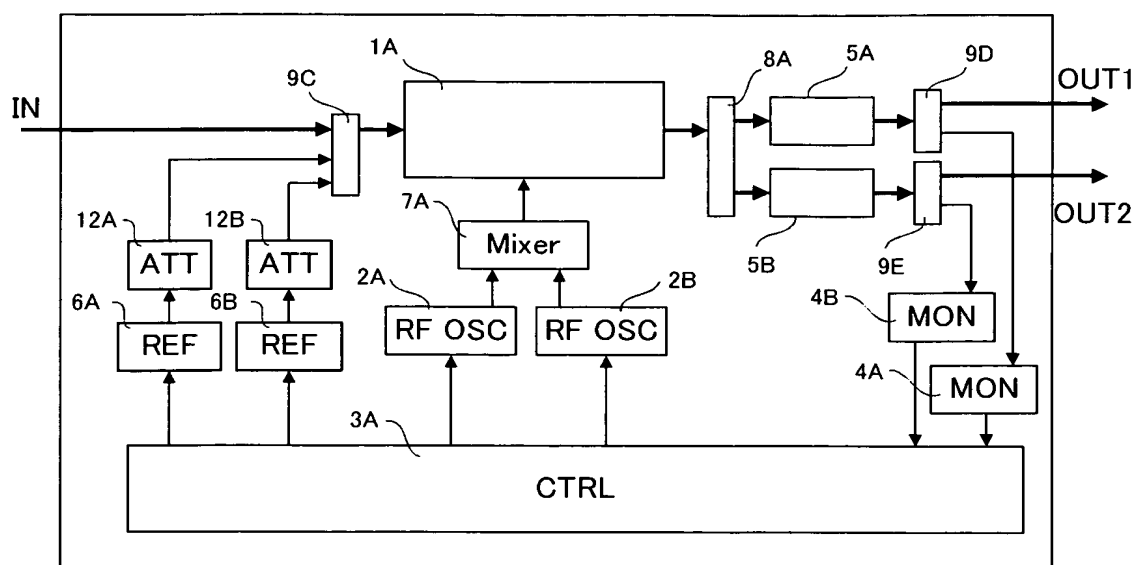
【図 6】



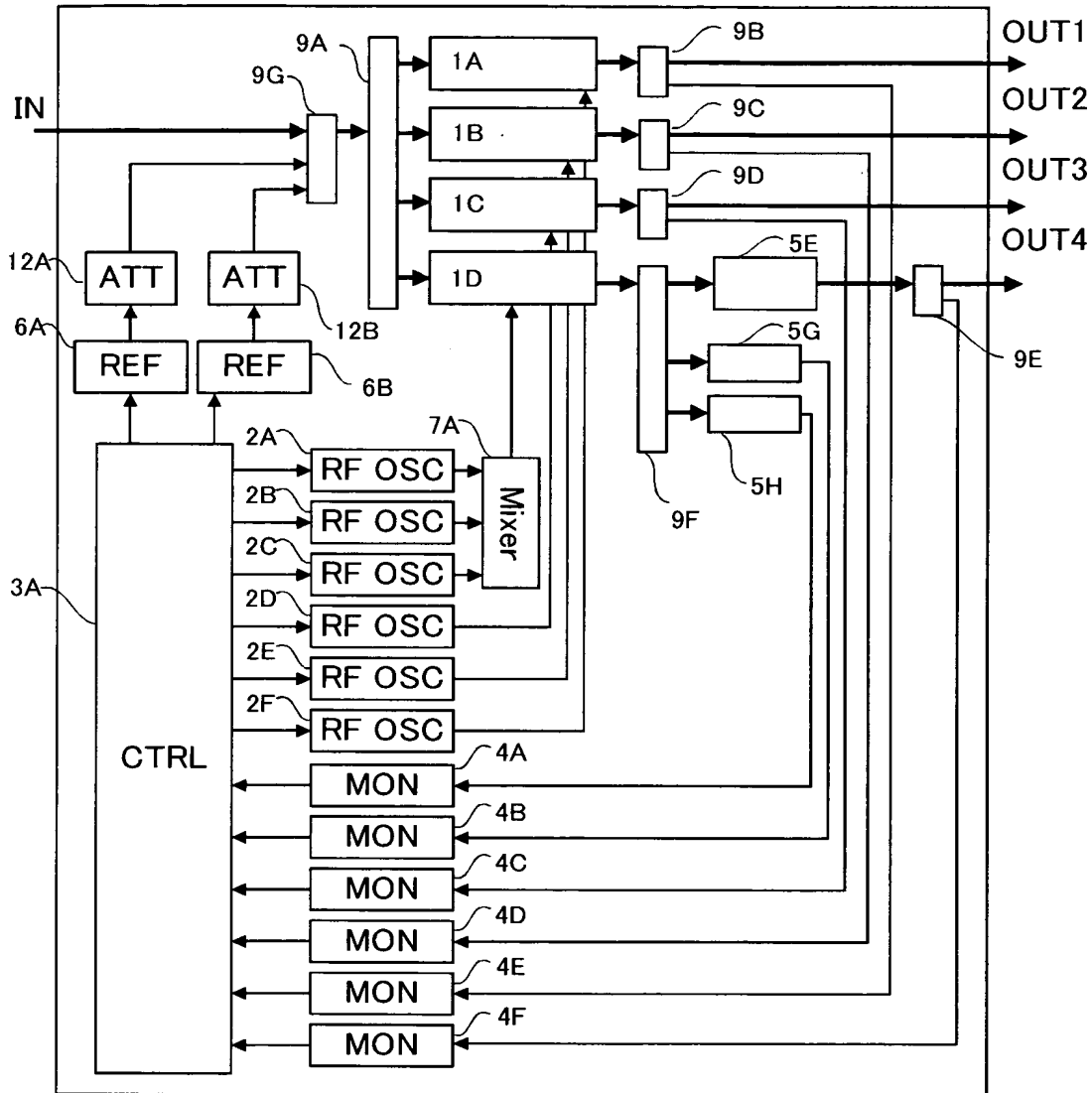
【図 7】



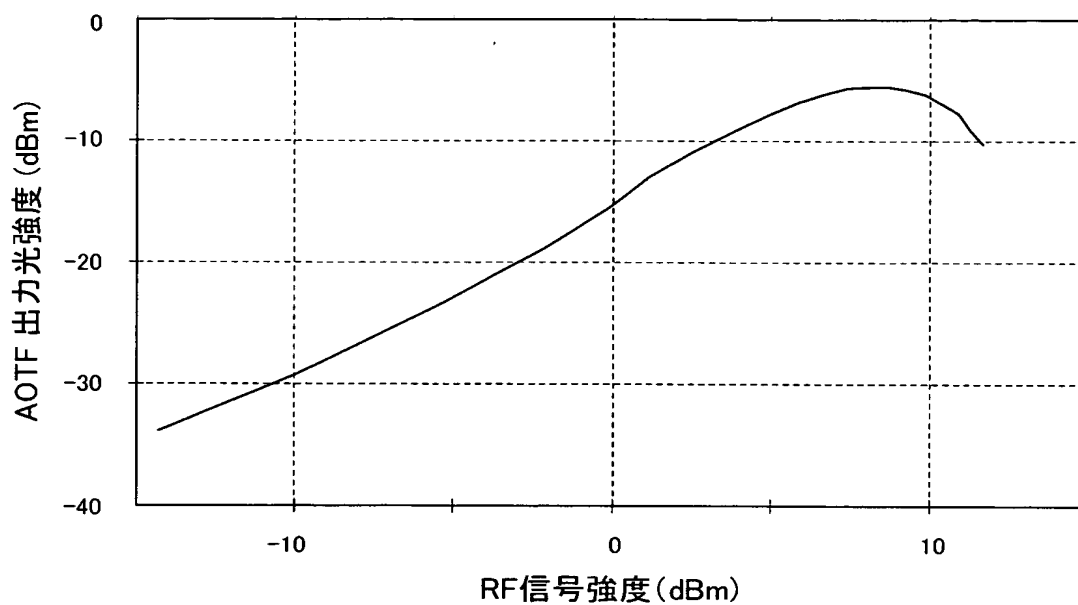
【図 8】



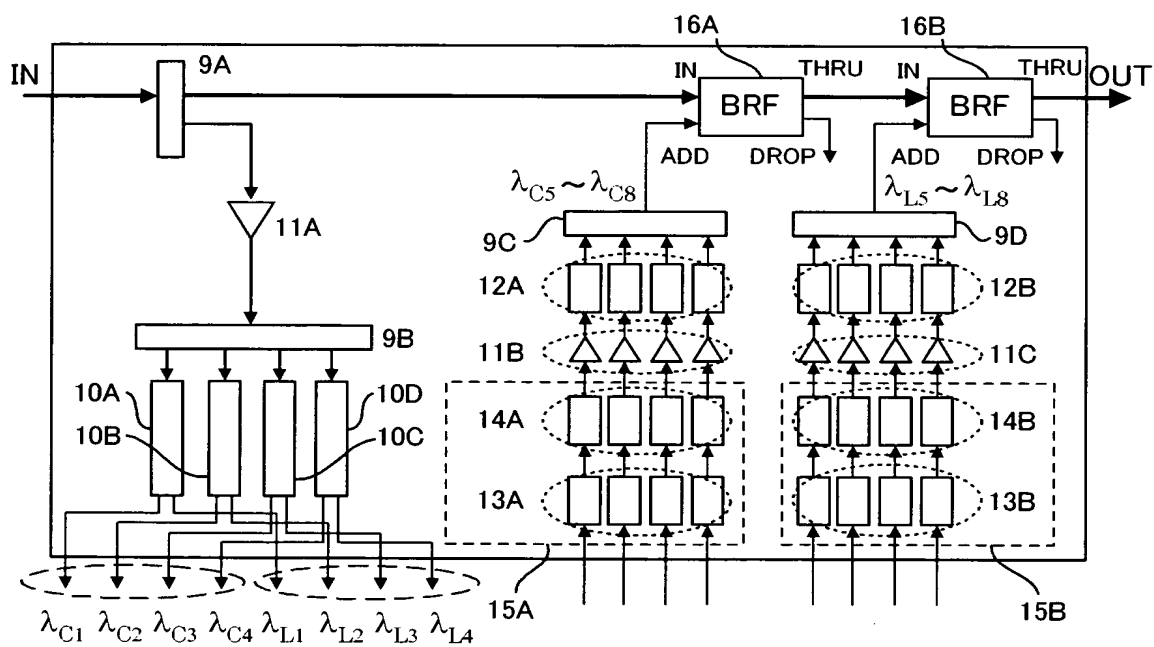
【図 9】



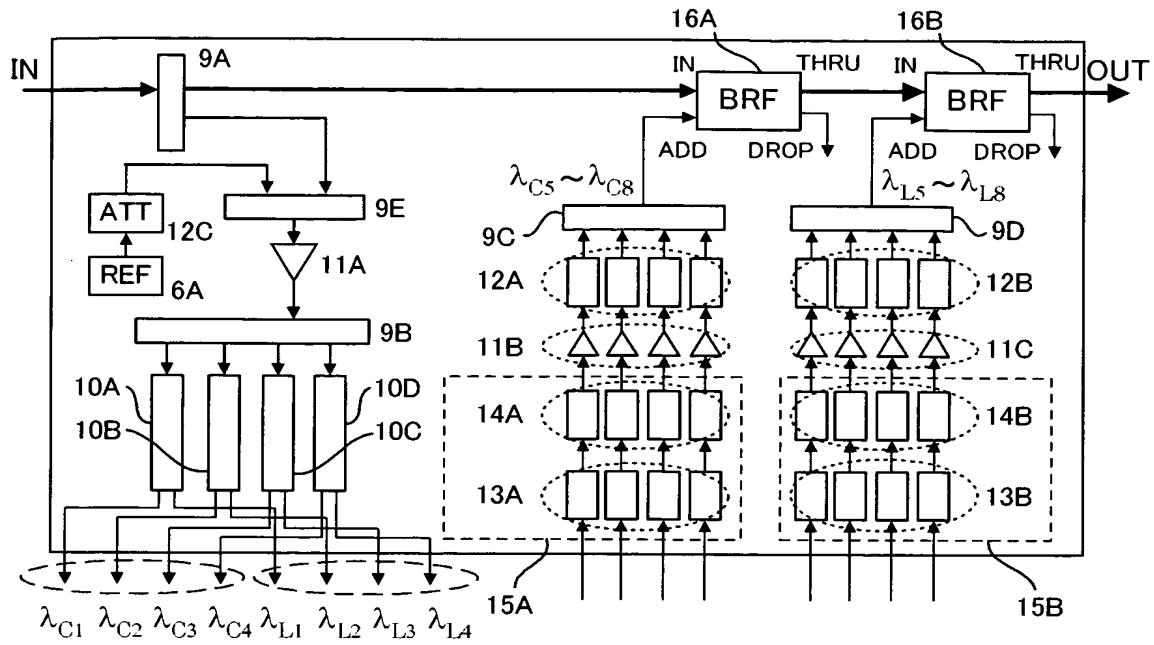
【図 10】



【図 11】

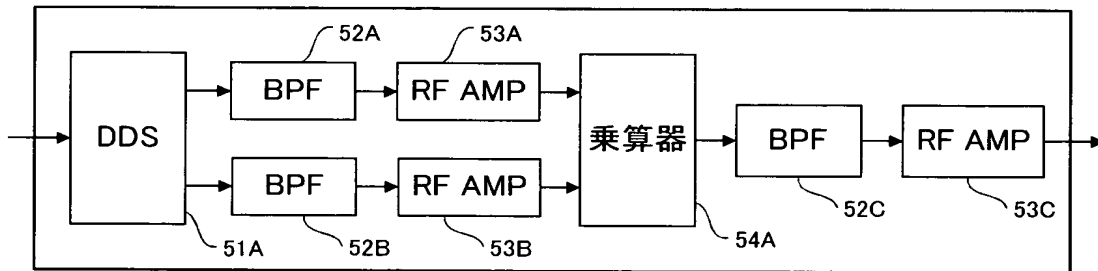


【図 12】

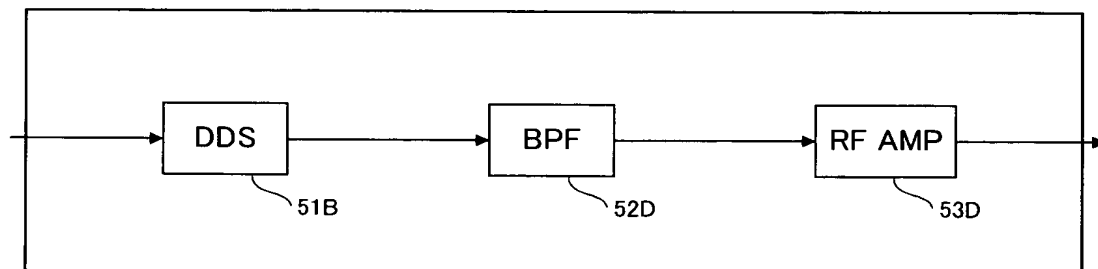


【図 13】

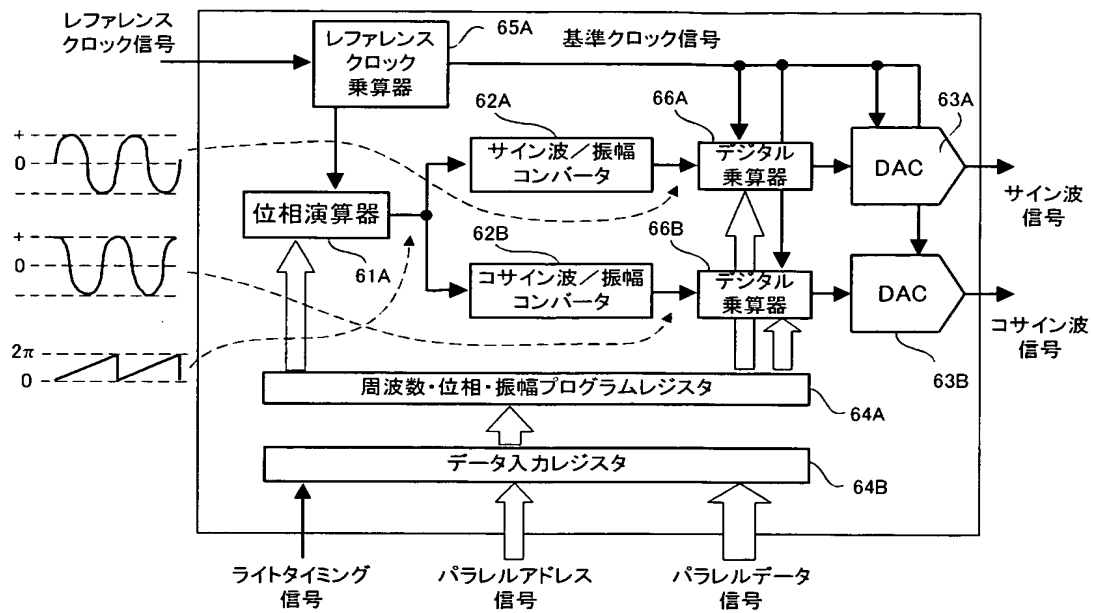
(a)



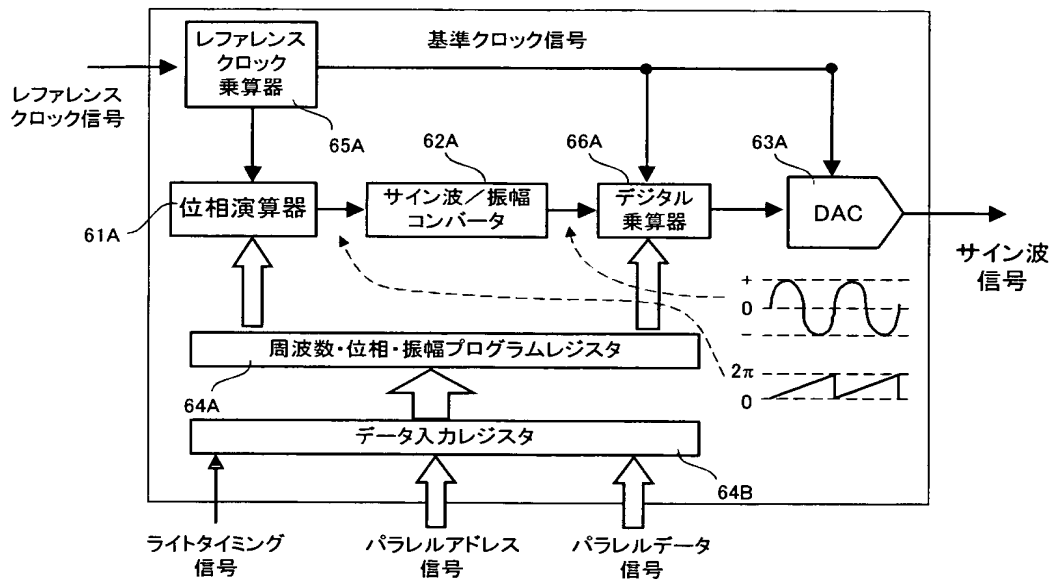
(b)



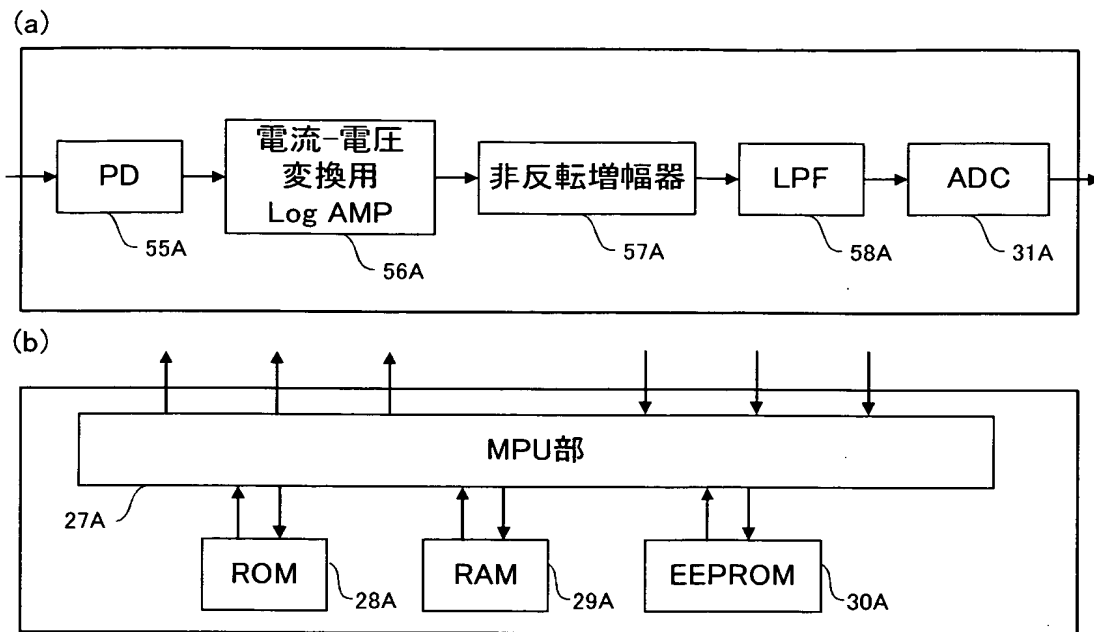
【図 1 4】



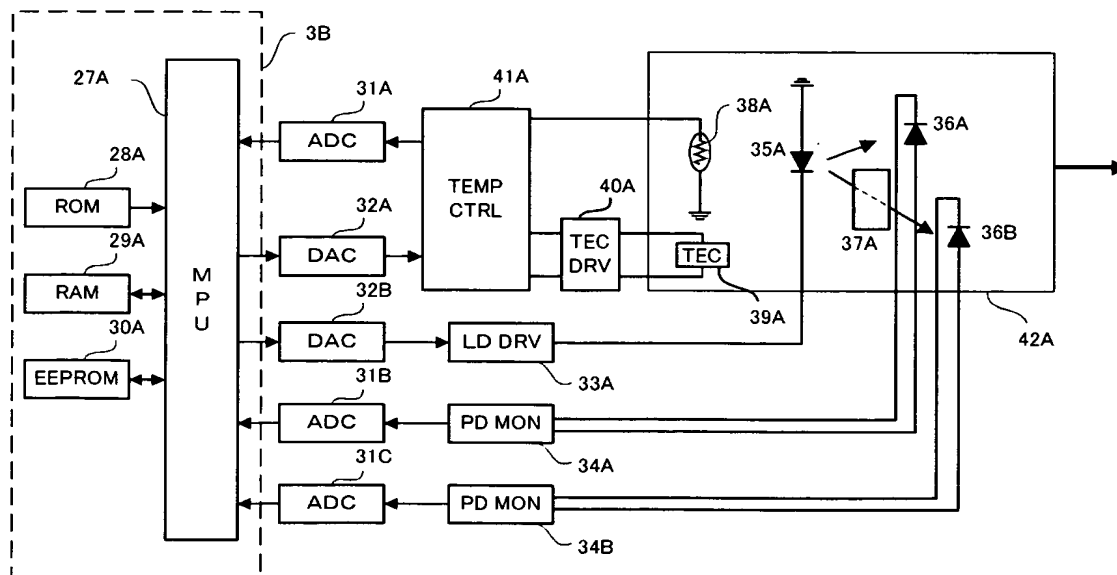
【図 1 5】



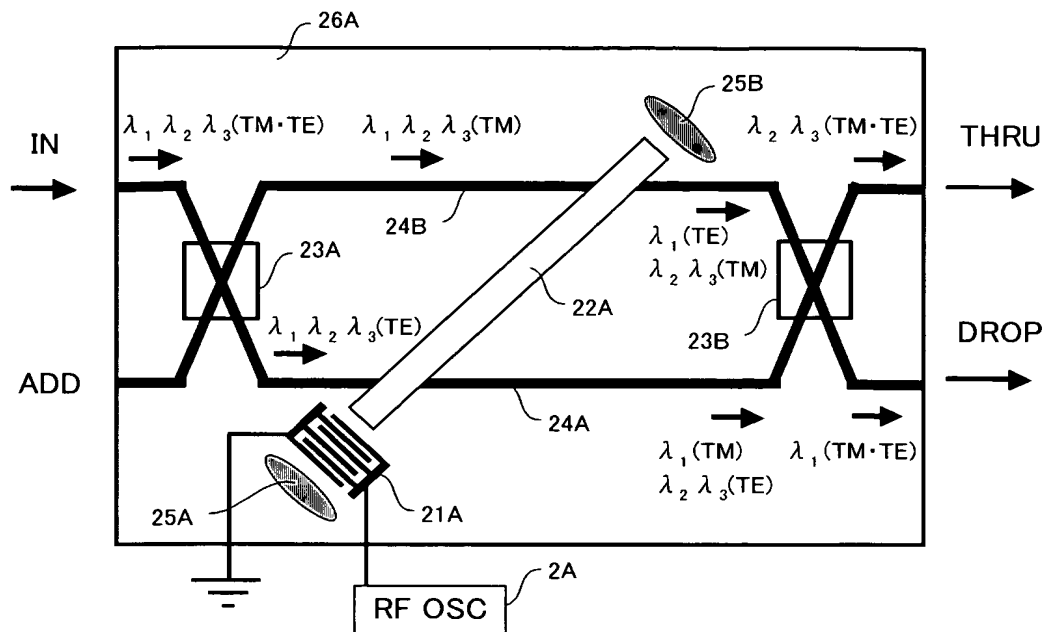
【図 16】



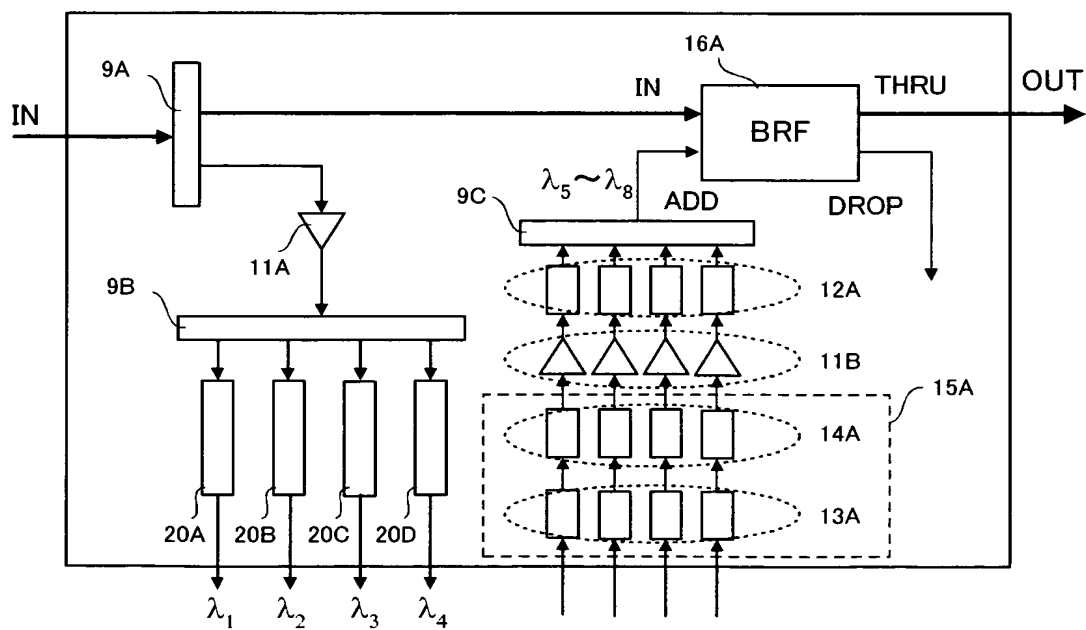
【図 17】



【図 18】

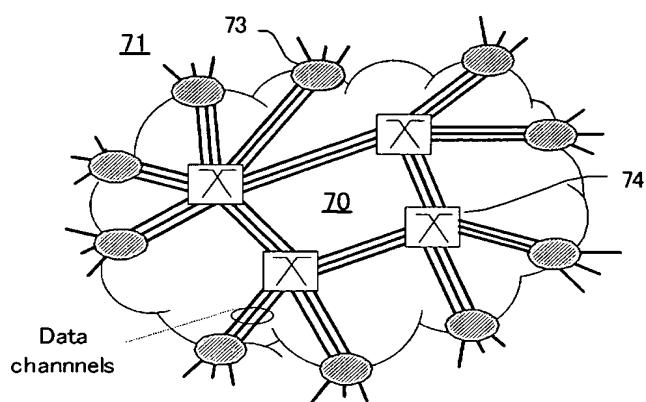


【図 19】

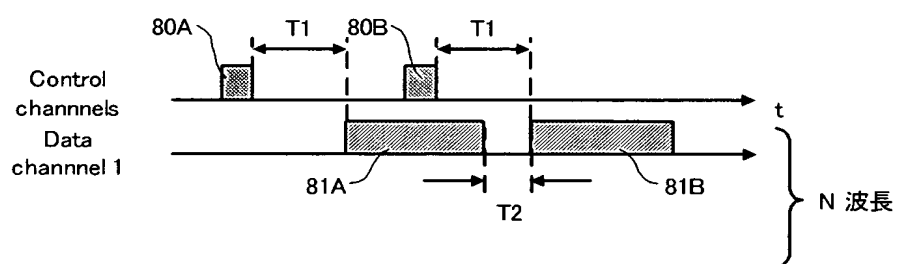


【図 20】

(a)



(b)



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 OADM装置等のWDM信号光を分岐・挿入する装置では、複数の波長の信号光が多重化された光から任意の波長の信号光を選択し出力する、選択波長可変光フィルタが用いられる。WDM信号光の多重度が増加すると、OADM装置等で使用する選択波長可変光フィルタの数が増加し、製造コストが増大する。

【解決手段】 入力した光の中から外部の制御信号により複数の波長を選択し出力する波長選択部と、該波長選択部の出力光を複数の波長に分波する分波手段を備えることで、装置に使用する場合のフィルタ使用数を抑えることができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 1 6 9 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社